

Secsi **Introducción** antes

CEKIT S.A. presenta a sus lectores de toda América Latina esta obra: **Curso fácil de Electrónica Básica** que incorpora toda la experiencia didáctica acumulada por más de quince años.

“**Aprender haciendo**” es la clave, y para esto solo es necesario saber leer y escribir, nada de conocimientos previos o avanzados, ni el manejo de las matemáticas.

Saber electrónica en nuestros días no es un privilegio de unos pocos, se ha convertido en una necesidad debido a que esta tecnología ha avanzado tan rápidamente que se encuentra en casi todas nuestras actividades y ha cambiado definitivamente nuestra forma de vivir.

El **Curso fácil de Electrónica Básica** está escrito en un lenguaje claro y fácil de entender, con una gran cantidad de ejemplos, experimentos e ilustraciones, pensando siempre en nuestros alumnos. El curso está dividido en cuatro secciones, cada una de ellas especializada en diferentes temas y actividades que combinan armónicamente la teoría con la práctica, metodología que ha distinguido los cursos de CEKIT, cuyos resultados didácticos han sido ampliamente comprobados.



Sección de teoría

En esta sección estudiaremos los principios básicos de la materia, los fenómenos que definen el comportamiento de la corriente eléctrica y su aplicación en una gran variedad de circuitos, desde una simple fuente de poder o alimentación, pasando por los amplificadores y los osciladores hasta los circuitos digitales, base de toda la electrónica digital moderna. Incluye además de las explicaciones correspondientes, ejemplos y ejercicios resueltos. Además, para afianzar la metodología didáctica de CEKIT de aprender haciendo, cada concepto se aclara mediante la elaboración de numerosos experimentos, que le permitirán corroborar la teoría y desarrollar la habilidad necesaria para diseñar sus propios experimentos.

Número de la lección

Nombre de la sección

<p>Teoría</p> <p>Introducción</p> <p>¿Qué es la electricidad? Preguntado respóndelo tú mismo. El término ELECTRICIDAD es demasiado amplio. Estrictamente se podría decir que la electricidad es un flujo de energía o que es un medio que actúa en el espacio. Una definición más técnica es la corriente eléctrica en un conductor o flujo de electrones e iones de un conductor que constituyen su estructura. En la aplicación a dicho conductor de una fuerza espacial llamada fuerza electromotriz.</p> <p>El conocimiento de la electricidad es la base científica a través de los años por medio de experimentos en muchos campos de la ingeniería, en las artes aplicadas, en el caso de la construcción, en el de gases y en el sector relacionado los coches, el cable, la luz, etc. Actualmente, la electricidad es un factor vital de un mundo tan amplio como es hoy en día. La importancia que tiene actualmente en nuestra vida individual y colectiva, en los hechos que rodean que no es fácil medir.</p> <p>Hoy por hoy no puede existir ninguna ciudad, por pequeña que sea, que no conozca la electricidad en su vida cotidiana en la cocina, calefacción, frigoríficos, congeladores, televisores, aparatos electrónicos, iluminación pública, instalaciones para recibir señales, aparatos impresores, torres, incluso los ascensores no pueden funcionar sin energía eléctrica para su control y funcionamiento. Y esto es solo un ejemplo de las aplicaciones a la electricidad.</p> <p>Una de las grandes ventajas de la energía eléctrica es que se puede transportar rápida y eficientemente en diferentes formas de energía tales como cables (corrientes eléctricas), luz (ondas electromagnéticas), o energía (al ser una energía de onda tipo) y que puede ser utilizada en cualquier momento y en cualquier lugar. Además, la energía eléctrica se puede transportar convenientemente a grandes distancias para utilizarla donde sea necesario como en los ciudades, edificios, centros industriales, centros comerciales, centros de transporte, en el campo, etc.</p> 	<p>Dependencia del grado de control que llega a los átomos. Los átomos pueden permanecer en sus órbitas estables.</p> <p>Estados sólidos. Cuando el átomo se encuentra en un estado sólido, los electrones que se encuentran en las órbitas más cercanas al núcleo no pueden escapar de él. En este caso, la materia cambia completamente de forma para adaptarse a la del recipiente que la contiene. Figura 1.3.</p> <p>Estados líquidos. Cuando el átomo se encuentra en un estado líquido, los electrones que se encuentran en las órbitas más cercanas al núcleo no pueden escapar de él. En este caso, la materia cambia completamente de forma para adaptarse a la del recipiente que la contiene. Figura 1.4.</p> <p>Composición de la materia. Analizar el estado físico de la materia, por ejemplo, el estado líquido. Para recordarlo mejor, imaginar un vaso con agua. Si observamos el agua en el vaso, podrá ser el agua, ¿cómo se llama el agua que está en el vaso y cómo se llama el agua que está en el vaso?</p> <p>Si tomamos una gota de agua y la dividimos en muchas partes, ¿qué sucede? ¿cómo se llama el agua que está en el vaso y cómo se llama el agua que está en el vaso?</p>  
---	--

Número de página

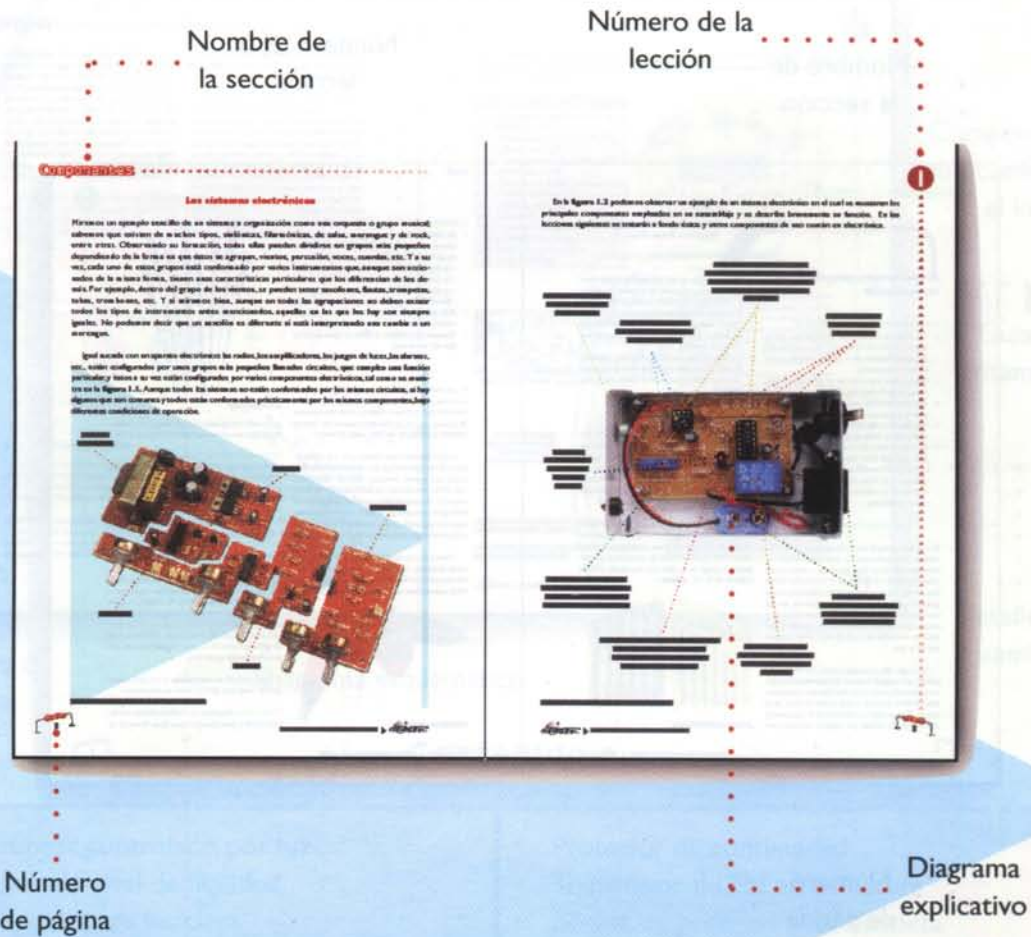
Contenido

- Teoría atómica y electricidad
- Conceptos básicos acerca de los circuitos eléctricos y electrónicos
- El magnetismo y el electromagnetismo
- Leyes básicas de la electricidad
- Los circuitos eléctricos y electrónicos
- La corriente eléctrica
- Las fuentes de poder
- Amplificadores y otros circuitos con transistores
- Osciladores con transistores
- El amplificador operacional
- La electrónica digital
- Las compuertas lógicas
- Los relojes o multivibradores
- Los decodificadores
- Los contadores



Sección de componentes

Aquí se estudian individualmente cada uno de los componentes básicos que conforman los circuitos y sistemas electrónicos. Incluye además de su definición y teoría de funcionamiento, la forma de identificarlos, su notación, forma de prueba, simbología y unidad de medida, entre otros. Se incluye una gran cantidad de ilustraciones y fotografías explicativas que le ayudarán en la comprensión del tema.



Contenido

- Los componentes electrónicos
- Símbolos y diagramas electrónicos
- Los componentes electromecánicos
- Lámparas
- Pilas y baterías
- Las resistencias
- Los condensadores
- Las bobinas y los transformadores
- Los semiconductores y el diodo
- Los transistores
- Los tiristores
- Los circuitos integrados
- Los componentes optoelectrónicos
- Los transductores

Sección de electrónica práctica

Esta sección se ha desarrollado con el objeto de brindar a los lectores una explicación muy clara y detallada de las técnicas y procedimientos necesarios para el ensamblaje, prueba y reparación de circuitos y sistemas electrónicos. Con ella se pretende dotar al estudiante con los conocimientos, habilidades, destrezas y competencias necesarios para que pueda desarrollar en forma exitosa y productiva todos los procesos y pasos necesarios en la práctica de la electrónica.

Nombre de la sección	Número de la lección
<p>Instrumentos prácticos</p>  <p>Cortador de líneas</p> <p>Se utiliza para cortar líneas de cobre y aluminio de 14, 18, 24 y 32 AWG. No cortar demasiado rápido. Utilizar la hoja correcta verificando el tamaño de corte por página para que el corte sea uniforme y pulido. Colocar la hoja con la almendra hacia adentro, ya que cuando se separa de una línea causa tensión el corte. Si el momento la hoja se corta.</p> <p>El banco de trabajo</p> <p>Se trata de un conjunto de herramientas para facilitar el trabajo de un técnico en electrónica. Contiene una gran variedad de herramientas de mano y de mano eléctrica que facilitan el trabajo de un técnico en electrónica.</p> 	<p>Condiciones de las líneas</p> <ul style="list-style-type: none"> Se debe verificar que tenga un buen filo, de lo contrario la línea y material se romben. La línea pasara en la zona de la almendra. La línea se calienta mucho. La línea produce chispa o ruido al cortar. El ruido producido tiene un fuerte olor. Para evitar, la línea debe estar en posición correcta, de lo contrario puede producirse un accidente. Después de cortar, la línea se debe limpiar y guardar en su caja. <p>El tablero de trabajo</p> <p>Es una herramienta diseñada para facilitar el trabajo de un técnico en electrónica. Contiene una gran variedad de herramientas de mano y de mano eléctrica que facilitan el trabajo de un técnico en electrónica.</p>  <p>Condiciones de las herramientas</p> <ul style="list-style-type: none"> Trabajar por un lado de la línea para evitar el movimiento de la línea. Trabajar en posición de equilibrio para evitar lesiones y evitar lesiones. La línea utilizada debe estar bien afilada, de lo contrario el trabajo se ve afectado en su calidad. Se ve a la izquierda y puede deteriorarse. <p>Lineas</p> <p>Se trata de un conjunto de herramientas para facilitar el trabajo de un técnico en electrónica. Contiene una gran variedad de herramientas de mano y de mano eléctrica que facilitan el trabajo de un técnico en electrónica.</p> 

Número de página

Contenido

- Las herramientas en electrónica
- Los instrumentos básicos para mediciones eléctricas
- El *proto-board* o tablero de conexiones
- Diseño y fabricación de circuitos impresos
- Soldadura de componentes electrónicos
- Elaboración de *chasis* para proyectos electrónicos
- Ensamblaje de aparatos electrónicos
- Los manuales de reemplazos
- El banco de trabajo
- Diagnóstico y reparación de fallas en circuitos electrónicos
- Simulación de circuitos por computadora
- Búsqueda de información en la internet

Sección de proyectos

Incluye la fabricación de una gran cantidad de proyectos electrónicos sencillos, pero de una gran calidad tanto técnica como didáctica, que le servirán para desarrollar habilidades manuales y en el diseño de nuevos productos. Para cada uno de los proyectos se incluyen la teoría de funcionamiento, el diagrama o plano completo, la lista de materiales y la guía de ensamblaje.

Nombre de la sección

Teoría de funcionamiento

Lista de materiales

Número del proyecto

The image shows a page from a project kit manual. It contains several sections:

- Text:** Describes the project's purpose and safety instructions.
- Diagrama esquemático:** A circuit schematic diagram with components labeled.
- Lista de materiales:** A list of parts including transistors, diodes, resistors, and capacitors.
- Guía de ensamblaje:** Step-by-step instructions for building the circuit, including a photo of the assembled board.
- Detalle del ensamblaje:** A close-up photo of a specific component being installed on the PCB.

Componentes que conforman el kit

Guía de ensamblaje

Detalle del ensamblaje

Número de página

Diagrama esquemático

Contenido

- Interruptor controlado por luz
- Medidor de nivel de líquidos
- Luz de giro para bicicleta
- Alarma electrónica temporizada
- Temporizador ajustable con relé
- Termómetro electrónico con indicador visual
- Fuente triple de poder
- Amplificador de audio con transistores
- Amplificador de audio monofónico con circuito integrado
- Amplificador de audio estéreo con circuito integrado
- Secuenciador de luces
- Interruptor activado por el tacto
- Probador de continuidad
- Transmisor de FM en miniatura
- Bocina de potencia para bicicleta
- Mezclador para micrófonos
- Miniórgano electrónico
- Probador de diodos
- Probador de transistores
- "Triqui" electrónico
- Dado electrónico
- Intervalómetro
- Intercomunicador
- Voltímetro luminoso
- Probador de reacción
- Y muchos más



A quienes va dirigido el curso

El **Curso fácil de Electrónica Básica** de CEKIT S.A. está dirigido a todas aquellas personas sin distinción de edad, sexo, ni actividad, con tendencia autodidacta, que estén interesados de una u otra forma en iniciarse en el conocimiento de la electrónica ya sea con fines académicos, lucrativos o simplemente como *hobby*. **Y más específicamente a:**



- **Docentes y Estudiantes de**
Colegios técnicos
Colegios de bachillerato académico con interés en la electrónica
- **Ingenieros**
De sistemas
Eléctricos
Mecánicos
- **Técnicos**
De radio y televisión principiantes
De computadoras
De mecánica y electricidad automotriz
De mantenimiento eléctrico y electrónico en todo tipo de industrias

Una de sus principales aplicaciones es servir como texto guía para aquellas instituciones educativas que incluyen la electrónica dentro de sus programas académicos.

Que aprenderá

El **Curso fácil de Electrónica Básica** de CEKIT S.A., complementado con el respaldo permanente de nuestra compañía, le proporcionará los conceptos y las habilidades prácticas necesarias para desenvolverse exitosamente en el campo de la electrónica. Gracias a esto y con un poco de iniciativa propia, usted podrá hacer de este curso no solo una fuente de conocimientos, sino que también le permitirá obtener ingresos adicionales. Por lo cual nuestro curso además de ser educativo, agradable y entretenido, es lucrativo.

Usted amigo lector, está invirtiendo en una obra de estudio, escrita con un lenguaje sencillo y ameno, a la que podrá tener acceso en su tiempo libre, ya sea en su trabajo, oficina o en su hogar y que le será entregada progresivamente en forma de fascículos semanales.

Además, usted como responsable de su propio aprendizaje y gracias a su disposición y a su interés por salir adelante, en poco tiempo podrá convertirse en un técnico de la electrónica.

Como se colecciona la obra

El **Curso fácil de Electrónica Básica** de CEKIT S.A., se publicará en 32 fascículos de circulación semanal y al finalizar el curso se agruparán en 3 tomos de pasta dura. Para facilitar la identificación de las secciones, ellas tienen un color diferente. Cada fascículo consta de 4 páginas de cubiertas y 20 páginas de contenido. De estas últimas, 8 están dedicadas a la sección de teoría, 4 a la sección de componentes, 4 a la sección de electrónica práctica y las 4 restantes a la sección de proyectos.



Las páginas de cada sección son encuadradas por separado. Debido a esto, debe desprender cuidadosamente de todos los fascículos las 4 páginas centrales de proyectos, las 4 páginas de electrónica práctica, las 4 páginas de componentes y las 8 restantes de teoría.

La distribución de los tomos es la siguiente:

- **Tomo 1: Teoría** (256 páginas)
- **Tomo 2: Componentes** (128 páginas)
- **Tomo 3: Electrónica práctica y proyectos** (256 páginas)

Otros beneficios que obtendrá



Usted, como alumno del **Curso fácil de Electrónica Básica**, además de los conocimientos, habilidades y satisfacciones que encontrará en su desarrollo, obtendrá un certificado de aptitud ocupacional otorgado por CEKIT S.A. y aprobado por las autoridades educativas, el cual recibirá simplemente contestando un cuestionario que se publicará al finalizar el curso. Dicho certificado le servirá para ascender a puestos de trabajo calificados.

Con cada uno de los fascículos del 1 al 10 recibe además completamente gratis un afiche coleccionable de 43 x 55 cm, que le servirá como ayuda didáctica no solo en su estudio individual, sino que también es de gran utilidad para profesores de colegios, institutos, universidades y demás centros educativos con énfasis en electrónica.

Los afiches contienen instrucciones de consulta permanente, tales como el código de colores para las resistencias, el código JIS para los condensadores, los símbolos de los componentes electrónicos, la ley de Ohm y de Watt, la teoría de funcionamiento de algunos componentes y las técnicas de soldadura, entre otros.



Soporte técnico

A demás, a partir de este curso, CEKIT S.A. tendrá una dirección de correo electrónico dedicada exclusivamente a atender las inquietudes de los lectores. Para cualquier consulta relacionada con los temas publicados en este curso, diríjase a:

basicafacil@cekit.com.co

Adicionalmente, tenemos soporte técnico personalizado en los países donde se distribuye esta obra; las empresas encargadas se encuentran identificadas en la segunda página de la cubierta del fascículo.



Introducción general al curso

Hace algunos años, CEKIT S.A. inició su tarea didáctica publicando el Curso Básico de Electrónica el cual ha sido leído y estudiado por un gran número de personas en toda latinoamérica y con él se han iniciado fácilmente en esta tecnología. Después de éste hemos publicado un buen número de cursos teórico prácticos como el de Radio AM-FM, Luces y Sonido, Electrónica Digital, Reparación y Mantenimiento de Computadoras, Programación de Computadoras, Electrónica Industrial y Microcontroladores, entre otros, cubriendo así un rango muy amplio del conocimiento y la práctica, indispensable esta última para lograr un verdadero aprendizaje.

Durante este período la electrónica ha avanzado considerablemente en todos sus aspectos, especialmente en el diseño y producción de nuevos componentes y circuitos integrados que han hecho posible que esta tecnología se encuentre en casi todas las actividades humanas y que haya cambiado definitivamente la forma de vivir en cuanto al trabajo, el transporte, las comunicaciones, la diversión, etc. Hoy vemos asombrados como cada día se producen nuevos inventos, se desarrollan nuevas tecnologías y se fabrican una gran cantidad de aparatos con mejores prestaciones a precios muy accesibles a todas las personas. El desarrollo de la industria

electrónica y todo lo relacionado con ella, contribuye en forma muy importante a las actividades económicas de casi todos los países del mundo.

Los electrodomésticos modernos, la electrónica aplicada al entretenimiento (televisión, vídeo y sonido), las computadoras, las telecomunicaciones, los dispositivos para el control industrial, los automatismos y la electrónica en el automóvil, entre otros, son los principales campos en los cuales se encuentra esta maravilla moderna.

Es por eso que ahora, con mucho mayor experiencia en el campo didáctico y técnico, publicamos un nuevo curso llamado **Curso FÁCIL de Electrónica Básica** destinado a todas aquellas personas sin distinción de edad, sexo y actividad, que estén interesadas de una u otra forma en iniciarse en esta

tecnología ya sea con fines académicos, de trabajo o simplemente como entretenimiento o hobby. El mismo desarrollo de la tecnología y especialmente el de las computadoras, nos permiten ahora elaborar un curso con una diagramación moderna, llena de ilustraciones y fotografías en color que facilitan el proceso de aprendizaje.

El curso está dividido en cuatro secciones: **Teoría, Componentes, Electrónica Práctica y**



Lección I

Teoría atómica y electricidad

La electricidad es la base de todo lo que existe. Nuestro mundo es un mundo eléctrico. Existen fenómenos naturales que dan origen a la electricidad y a sus efectos muy importantes como: la luz eléctrica, el calor, el movimiento en las máquinas y vehículos, etc. Fenómenos que son difíciles de entender porque suceden al interior de partículas tan pequeñas como el átomo que el ser humano no puede captar, y solo con ilustraciones podemos explicarlos. Esta lección analizará muchos de los fenómenos relativos al origen de la electricidad.



Introducción

¿Qué es la electricidad?

Pregunta de respuesta difícil porque el término ELECTRICIDAD es demasiado amplio. Rápidamente se podría decir que la electricidad es una forma de energía o que es un medio que actúa en la materia. Una definición más técnica es: **la corriente eléctrica es un movimiento o flujo de electrones a través de un conductor; este movimiento no es posible sin la aplicación a dicho conductor de una fuerza especial llamada fuerza electromotriz.**

El conocimiento de la electricidad se ha ido ampliando a través de los años por medio de experimentos en muchos campos: en el magnetismo, en las pilas eléctricas, en el paso de la corriente a través de gases y en el vacío, estudiando los metales, el calor, la luz, etc. Anteriormente, la electricidad no se había utilizado de un modo tan amplio como se hace hoy en día. La importancia que tiene actualmente en nuestra vida individual y colectiva, se ha hecho tan evidente que no es fácil medirla.

Hoy por hoy no puede existir ninguna ciudad, por pequeña que sea, que no necesite la electricidad en su vida cotidiana: en la cocina, calefacción, frigoríficos, congeladores, televisores, ascensores, escaleras mecánicas, alumbrado público, incubadoras para recién nacidos, máquinas impresoras, tornos; inclusive los automóviles no pueden funcionar sin energía eléctrica para su arranque y alumbrado... y tantas otras cosas que no alcanzamos a mencionar.

Una de las grandes cualidades de la energía eléctrica es que se puede convertir rápida y eficazmente en diferentes formas de energía tales como: calórica (hornos, estufa eléctrica), lumínica (iluminación, rayo láser), mecánica (el motor eléctrico de todo tipo) y química (cargador de baterías, electrólisis), entre otras. Además, la energía eléctrica se puede transportar económicamente a grandes distancias para utilizarla donde sea necesaria como en las ciudades, fábricas, centros industriales, centros comerciales, centros de transporte, en el campo, etc.

A medida que avanza el desarrollo de la humanidad, la energía eléctrica se hace cada vez más indispensable ya que se puede utilizar fácilmente para numerosos y variados propósitos.

Una característica importante de la energía eléctrica es que está libre de toda clase de productos indeseables de la combustión como humos, cenizas y emanaciones que dañan la atmósfera. La aplicación de la electricidad se logra fácilmente si se posee un completo conocimiento de las leyes de la corriente eléctrica, sus relaciones con el magnetismo, así como la manera de producirla y de obtener efectos electromecánicos y electroquímicos, los cuales serán estudiados en próximas lecciones.

La materia

Todo lo que existe en el universo, que ocupa un lugar en el espacio y que podemos ver y tocar, e incluso, aquellas cosas que no podemos ver, pero



Figura 1.1. La materia



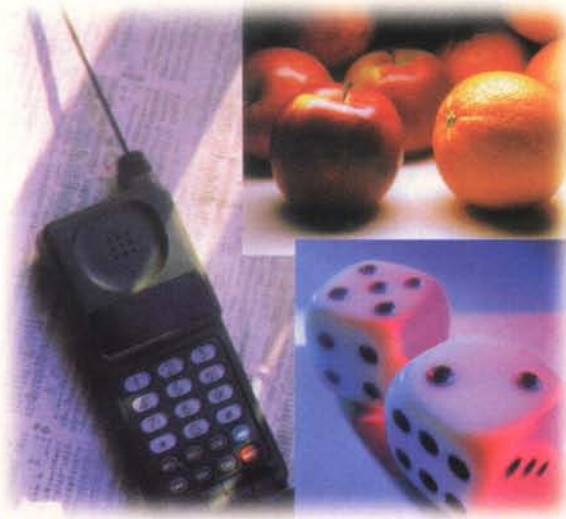


Figura 1.2. Estado sólido

que sabemos que existen, están formadas por materia. **Figura 1.1**

Después de muchos experimentos e investigaciones, se descubrió que los cuerpos no son indivisibles, sino que por el contrario, están formados por la unión de un gran número de partículas pequeñísimas. Gracias a este descubrimiento, los científicos han encontrado soluciones y leyes para muchos fenómenos químicos y físicos como por ejemplo, el caso de la energía nuclear.



Figura 1.3. Estado líquido

Dependiendo del grado de unión que haya entre estas partículas, los cuerpos pueden presentarse en tres diferentes estados:

Estado sólido. Cuando el contacto entre dichas partículas es muy fuerte. Se caracteriza por tener forma y volumen definidos. **Figura 1.2**

Estado líquido. Cuando el contacto entre ellas es más flojo. En este caso, la materia cambia constantemente de forma para adaptarse a la del recipiente que la contiene. **Figura 1.3**

Estado gaseoso. Las partículas están totalmente libres, es decir, no existe contacto entre ellas. Se caracteriza porque puede cambiar su volumen y su forma, adaptándose a cualquier espacio. **Figura 1.4**

Composición de la materia

Analicemos cualquier estado de la materia, por ejemplo, el estado líquido. Para entenderlo mejor, utilicemos una vasija con agua. Si observamos el agua en la vasija, podría usted imaginarse ¿cuántas gotas de agua caben en ella? miles y miles ¿verdad?

Si tomamos una gota de agua y la dividimos muchísimas veces, llegaría un momento en que no podríamos hacerlo más porque perdería sus propiedades y, por ser tan pequeña, para lograr verla debemos utilizar un microscopio. Dicha gotita recibe el nombre de MOLÉCULA. Ésta constituye la parte más pe-



Figura 1.4. Estado gaseoso

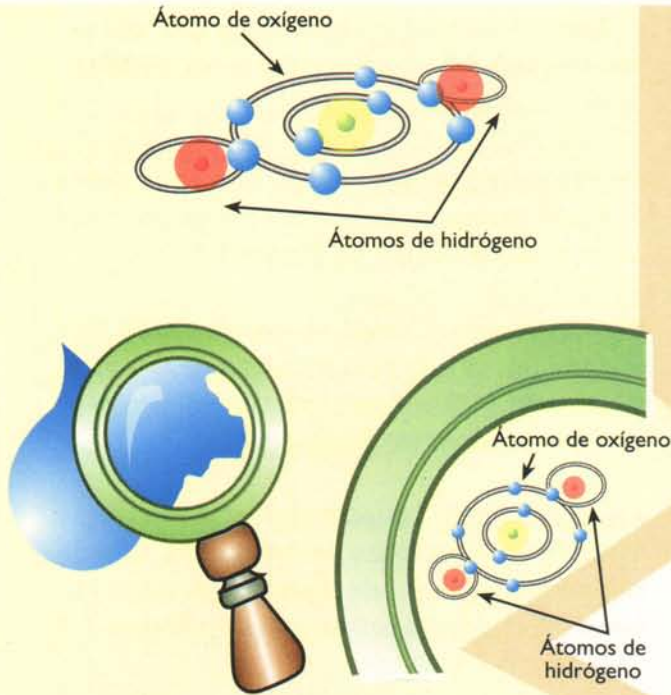


Figura 1.5. La molécula del agua

Retomemos el ejemplo de la gotita de agua. Si mediante un proceso químico la dividimos, encontraremos que esa gotita de agua tan pequeña está formada por tres elementos simples así: dos partes de hidrógeno y una parte de oxígeno, tal como se muestra en la **figura 1.5**. Luego, se puede concluir que la molécula de agua está formada por tres átomos: dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. También se puede decir que la molécula de agua está formada por la combinación de dos elementos distintos, se dice entonces que es un cuerpo compuesto.

Estructura atómica

Una vez descubierto el átomo, la curiosidad del hombre lo impulsó a querer saber qué había en su interior. Fue así como, después de muchos experimentos, se descubrió que en el interior de éstos se encuentran encerradas una serie de partículas que poseen energía propia y que son las directas responsables de los fenómenos eléctricos.

peña de cualquier cuerpo y conserva todas las características del mismo. En conclusión, todos los cuerpos están formados por millones de moléculas.

Seguramente usted ya se está haciendo una pregunta: ¿si dividimos dicha molécula, qué podríamos obtener? Efectivamente, esta molécula puede ser dividida en unas partículas mucho más pequeñas e invisibles llamadas **ÁTOMOS**, los cuales constituyen la unidad fundamental del universo, y solos o en combinación, forman todo lo que existe.

En 1808, el físico y químico británico Jhon Dalton (1766- 1844) formuló las primeras bases que marcaron el inicio de la era atómica. Sin embargo, una de sus teorías que afirmaba que el átomo era indivisible fue modificada, ya que como se sabe el átomo sí puede ser dividido siendo éste el principio de la energía nuclear. En 1913, Niels Bohr, enunció lo que hoy se conoce como **TEORÍA ELECTRÓNICA** y explicó que, si fuera posible ver el interior de un átomo, éste sería semejante a un sistema solar

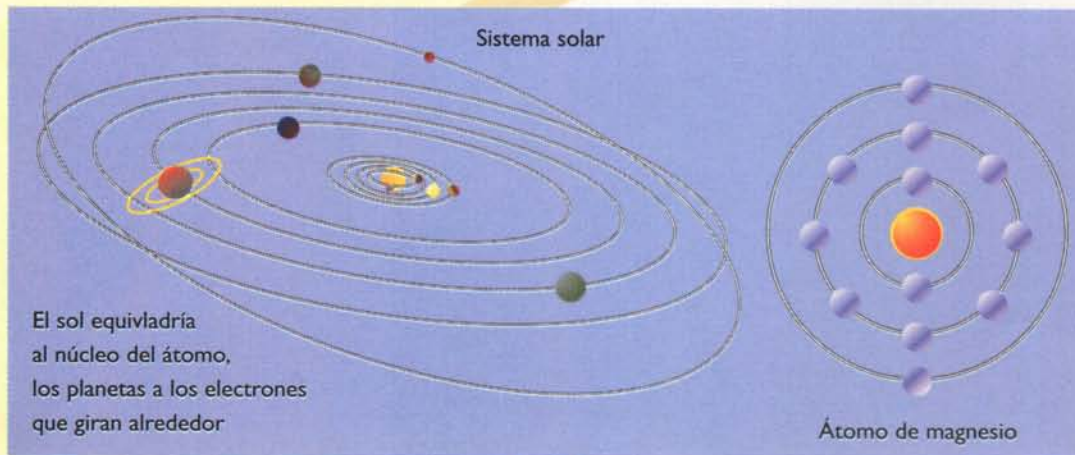


Figura 1.6. Analogía hecha por Niels Bohr



en miniatura. **Figura 1.6.** Hoy en día un átomo se representa como se muestra en la **figura 1.7**.

Carga eléctrica del átomo

Cuando decimos que los electrones y los protones tienen carga eléctrica, esto quiere decir que poseen una fuerza la cual ejercen en todas las direcciones y que, gracias a ella, una partícula tiene el poder de atraer o rechazar otras partículas.

La **carga negativa** del electrón y la fuerza ejercida por ésta, se encuentra dirigida hacia adentro y tiene el mismo valor que la **carga positiva** del protón, cuya fuerza está siempre dirigida hacia afuera. Esto genera dos **CAMPOS ELÉCTRICOS** contrarios, pero de igual magnitud, por lo cual, los átomos son eléctricamente neutros.

Para que se produzcan cambios eléctricos en los átomos, éstos deben estar descompensados o desequilibrados, y reciben el nombre de **iones**. Un ion se forma cuando un átomo gana o pierde uno o varios electrones. Pueden ser de dos clases:

Ion positivo: cuando hay más protones que electrones, por haber perdido uno o más electrones.

Ion negativo: cuando hay más electrones que protones, por haber ganado uno o más electrones.

Para que el átomo se equilibre de nuevo, necesita tener el mismo número de protones y de electrones. Así, el átomo cargado positivamente necesita de otro electrón. Esto crea una fuerza entre dicho átomo y todos sus átomos vecinos. Dicha fuerza llega a ser tan grande que se puede robar un electrón de su átomo vecino para poder estabilizarse de nuevo. De esta forma el átomo, al cual le ha robado el electrón, queda también desequilibrado y por ello intentaría obtener otro electrón de sus átomos vecinos, y así sucesivamente. Así se crea una cadena de intercambio de electrones entre los átomos que forman un cuerpo. Lo anterior es la base para enunciar dos leyes fundamentales de la electricidad:

1. Cargas iguales se rechazan. **Figura 1.8**
2. Cargas distintas se atraen. **Figura 1.9**

La parte central es el núcleo que contiene dos tipos de partículas llamadas protones y neutrones y, alrededor de éste, en diferentes órbitas, giran a grandes velocidades otras partículas llamadas electrones.

Núcleo

Órbita

En el estudio de la electricidad y la electrónica, solo interesan los electrones y los protones, ya que estos son los encargados de producir los fenómenos eléctricos.

ELECTRONES

- Se encuentran girando en órbitas alrededor del núcleo.
- Se identifican con el signo menos (-), porque poseen carga o electricidad negativa.
- Son muy livianos.
- Participan activamente en la transmisión de energía eléctrica.

NEUTRONES

- Se encuentran siempre en el núcleo.
- Se identifican con el signo (\pm), porque no poseen carga.
- No participan activamente en la transmisión de energía eléctrica.

PROTONES

- Se encuentran siempre en el núcleo.
- Se identifican con el signo más (+), porque poseen carga o electricidad positiva.
- Son muy pesados.
- No participan activamente en la transmisión de energía eléctrica.

Figura 1.7. Representación moderna del átomo

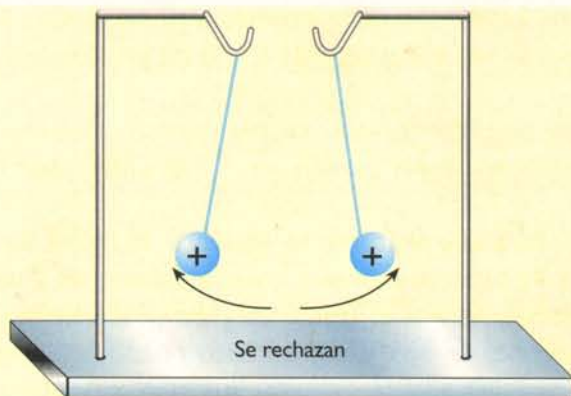


Figura 1.8. Cargas iguales se repelen

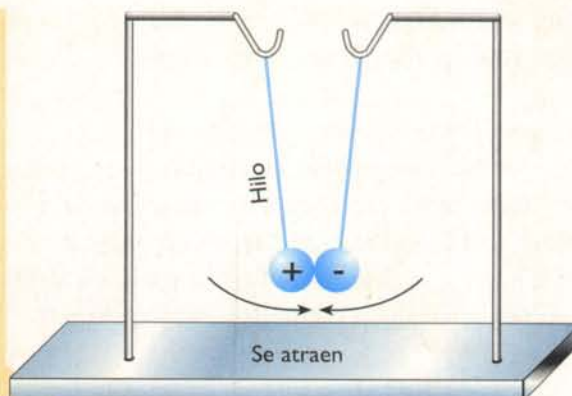


Figura 1.9. Cargas distintas se atraen

Número atómico

Todos los electrones y todos los protones son iguales, sin importar el material al que pertenecen. Entonces, si todos los materiales están formados por las mismas partículas ¿cómo es que son tan diferentes? Los materiales se diferencian unos de otros porque el número de electrones que poseen en cada átomo es diferente a los de los demás. El número de protones que hay en el núcleo de cada átomo es siempre igual al número de electrones que giran en torno de él. A esta característica se le conoce como **NÚMERO ATÓMICO**. Por ejemplo, el número atómico del oxígeno es 8 porque tiene 8 protones y 8 electrones, y se diferencia del aluminio, porque este último posee 13 electrones y 13 protones; es decir, su número atómico es 13; figura 1.10

Niveles de energía y distribución de los electrones en el átomo

Ya sabemos que los electrones se encuentran girando en órbitas alrededor del núcleo. Ahora la pregun-

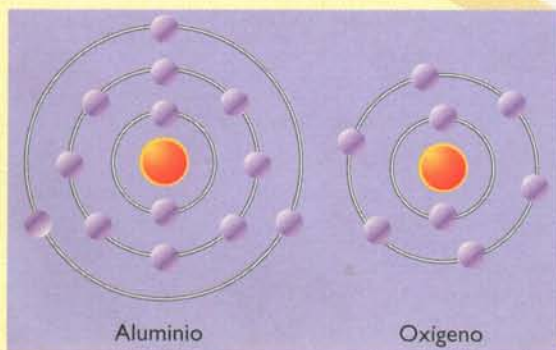


Figura 1.10. Número atómico

ta es: ¿cuántas órbitas pueden haber alrededor del núcleo y cuántos electrones pueden circular en cada una de ellas? Conforme a la **teoría electrónica** de Bohr y la cuantificación de la energía, los átomos pueden tener un máximo de siete órbitas o capas alrededor del núcleo, las cuales se denominan con las letras K, L, M, N, O, P, y Q, y cada una de ellas acepta solamente un cierto número de electrones así: la primera tendrá 2 electrones, la segunda 8, la tercera 18, la cuarta 32 y así sucesivamente, tal como se observa en la figura 1.11. Los electrones que se encuentran en las capas más cercanas al núcleo son atraídos con más fuerza por los protones, que los que se encuentran en las órbitas más alejadas. Como los electrones que hay en cada órbita poseen cierta cantidad de energía, a éstas también se les llama **niveles de energía**, y la cantidad de energía que tiene cada nivel, depende del número de electrones que posee.

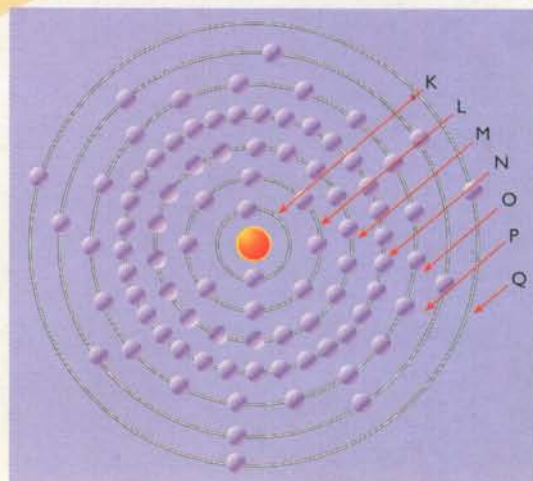


Figura 1.11. Niveles de energía

Electrones de valencia

Desde el punto de vista eléctrico, de todas las órbitas o niveles de energía, solo nos interesa estudiar la última de cada átomo, pues los electrones que se encuentran en ella son quienes determinan las propiedades químicas y físicas de los elementos y son directamente los responsables de los fenómenos eléctricos. Dichos electrones reciben el nombre de electrones de valencia y pueden ser un máximo de ocho. De acuerdo al número de **electrones de valencia** que tengan los átomos de un elemento, desde el punto de vista eléctrico, éstos pueden clasificarse como conductores, aislantes y semiconductores.

Conductores: a este grupo pertenecen los átomos que poseen menos de cuatro electrones de valencia, los cuales tienden a perder dichos electrones para lograr su equilibrio. Estos materiales reciben el nombre de **METALES** y son los más

adecuados para producir fenómenos eléctricos; a este grupo pertenecen, por ejemplo, el cobre que tiene un electrón de valencia, el hierro dos y el aluminio tres. Podemos observar la distribución de sus electrones en la **figura 1.12**. Aquellos que poseen un solo electrón de valencia son los mejores conductores.

Aislantes: son aquellos que tienen más de cuatro electrones de valencia. Son llamados **METALOIDES**, porque tienden a ganar los electrones necesarios para lograr su equilibrio; ejemplos de éstos son el fósforo que tiene cinco electrones de valencia, el azufre que tiene seis y el cloro con siete. En la **figura 1.13** observamos la distribución de los electrones para estos elementos. Aquellos átomos que poseen ocho electrones de valencia son químicamente muy estables y por esta razón es muy difícil producir un fenómeno eléctrico con ellos, un ejemplo de éstos es el xenón.

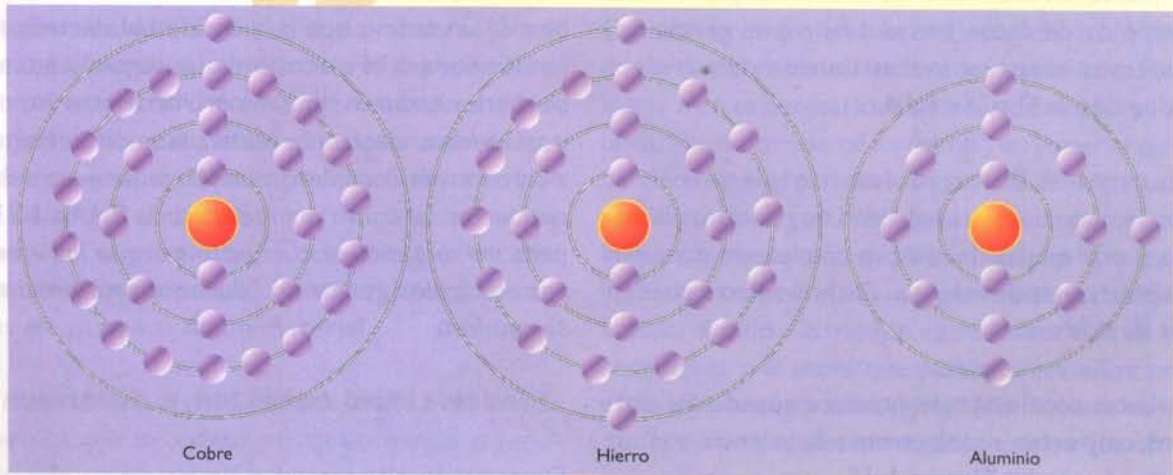


Figura 1.12. Átomos de los conductores

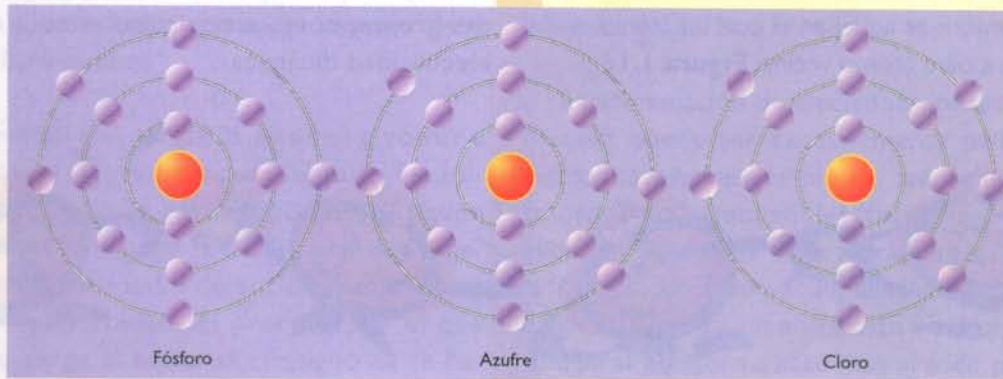


Figura 1.13. Átomos de los aislantes

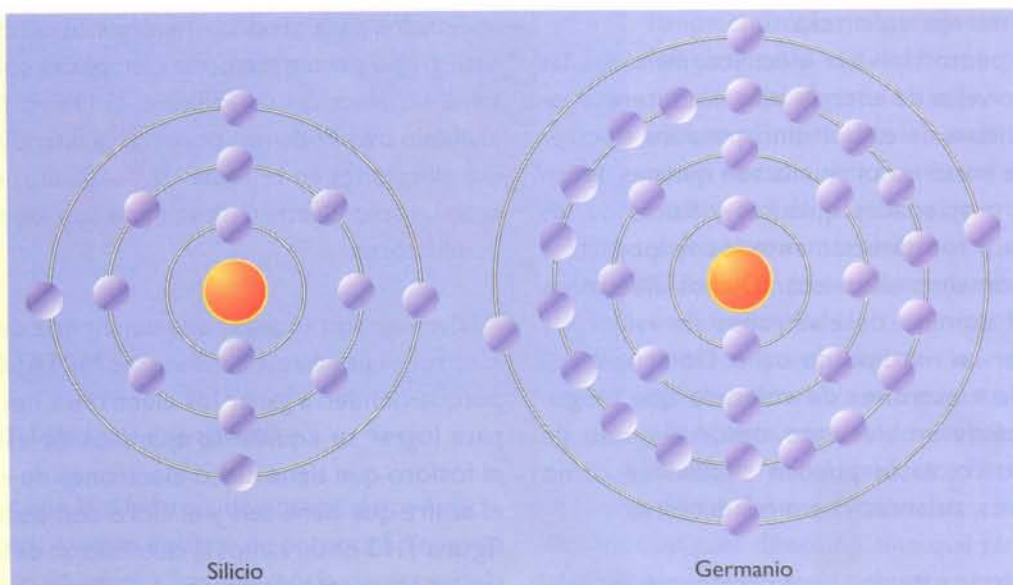


Figura 1.14. Átomos de los semiconductores

Semiconductores: poseen cuatro electrones de valencia y sus propiedades se encuentran en un punto medio entre conductores y aislantes. Ejemplos de éstos son el silicio y el germanio; podemos observar la distribución de sus electrones en la **figura 1.14**.

Electrones libres en los metales

Los átomos tienen la habilidad de relacionarse entre sí por medio de enlaces, empleando para ello los electrones de valencia. Dichos enlaces pueden ser de dos tipos:

Enlace covalente: se produce cuando los átomos, **comparten** sus electrones de valencia, con sus átomos vecinos. **Figura 1.15**

Enlace iónico: es aquel en el cual un átomo **cede** electrones a otro átomo vecino. **Figura 1.16**

Cuando un electrón de valencia se escapa de su órbita se convierte en un **electrón libre**. Dicho electrón puede entrar fácilmente en la última órbita de un átomo que ha perdido un electrón. Al mismo tiempo, el electrón de un segundo átomo se libera y entra en la última órbita de otro átomo y así muchos electrones libres pasan de un átomo a otro moviéndose desordenadamente dentro del conductor, tal como se muestra en la **figura 1.17**, pero **no se produce corriente porque los efectos eléctricos generados durante este proceso se anulan**.

Electricidad estática y dinámica

De acuerdo a la actividad de las cargas eléctricas, la electricidad puede clasificarse en dos grandes grupos: como electricidad estática o como electricidad dinámica.



Figura 1.15. Enlace covalente



Figura 1.16. Enlace iónico

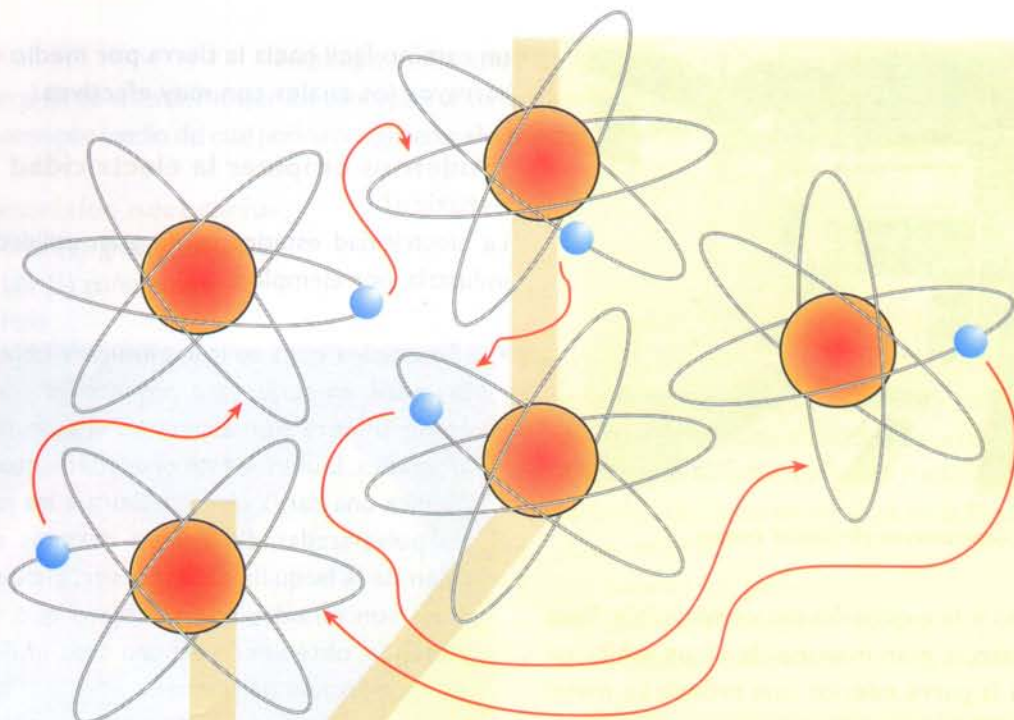


Figura 1.17. Electrones libres

¿Qué es la electricidad estática?

Recibe también el nombre de electrostática. Como su nombre lo indica, se refiere a los electrones estáticos o en reposo, es decir sin movimiento, aunque hablar de electrones en reposo no es muy común porque éstos siempre se visualizan como partículas inquietas y saltarinas que van de un lugar a otro. La electricidad estática se produce por la acumulación de cargas en un punto de un material.

Un cuerpo cargado siempre afecta a los demás cuerpos que lo rodean ya sea atrayendo o repeliendo sus electrones. Todo material cargado positivamente tiene en él escasez de electrones, mientras que todo material con carga negativa tiene exceso de electrones.

Los materiales cargados tienden a volver a su estado de equilibrio y para lograrlo necesitan descargarse. Al hacer esto, lo consiguen desprendiendo energía la cual se manifiesta generalmente por medio de acciones mecánicas o por simples chispas. El proceso por el que adquiere carga el material contiguo se le llama *inducción electrostática*.

Como crear electricidad estática

Cuando cargamos un material estamos acumulando partículas eléctricas en un punto del mismo. Para lograr esto es necesario mover electrones libres de un átomo a otro, de tal forma que un material pierda electrones y el otro los gane. El método más sencillo para cargar un material es por frotamiento. En las máquinas que se empleaban antiguamente para imprimir los periódicos, se generaba electricidad estática debido a la fricción entre los rodillos de las impresoras y el papel que pasaba entre ellos; por esta razón los operarios debían usar accesorios de protección especiales conectados a tierra que ofrecían una vía expresa a los electrones de manera que las cargas se neutralizaran; tal como se muestra en la **figura 1.18**.

La acumulación de electrones, resultado de la fricción, puede ser excesivamente peligrosa en ciertos casos, por ejemplo, los carro-tanques que transportan combustibles constituyen uno de ellos. A medida que el carro-tanque se desplaza, la fricción con el aire acumula electricidad estática en él. Si la tensión entre éste y cualquier objeto a su alrededor se hace muy grande, puede generarse una descarga eléctrica que podría causar





Figura 1.18. Generación de electricidad estática

un incendio y la explosión del combustible. Para prevenir esto, la gran mayoría de estos vehículos poseen en la parte inferior una cadena de metal que se arrastra constantemente por el camino para provocar un contacto con la tierra; de esta forma se descarga el vehículo y se previene de algún accidente. Este fenómeno se hace visible ya que se producen chispas contra el pavimento a medida que el vehículo se descarga.

Cuando los materiales se encuentran muy cargados, los electrones saltan de un material a otro antes de que se establezca un contacto real entre ellos. En estos casos la descarga se ve en forma de arco luminoso. Un claro ejemplo son las cargas que se producen en las nubes al frotarse con las moléculas del aire; la gran cantidad de electricidad acumulada en éstas puede descargarse a través de grandes espacios provocando arcos de muchos metros de longitud llamados rayos, tal como se muestra en la **figura 1.19**. El poder destructivo de ellos es un claro ejemplo de la cantidad de energía que pueden transportar los cuerpos cargados eléctricamente. La protección contra los rayos se obtiene solamente proporcionando a los electrones

un camino fácil hacia la tierra por medio de pararrayos los cuales son muy efectivos.

¿Podemos emplear la electricidad estática?

La electricidad estática es de gran utilidad en la industria, por ejemplo:

- Se emplea para aplicar pintura a objetos fabricados en serie; este proceso es conocido como pintura por aspersión o pintura electrostática. Durante este procedimiento se comunica una carga electrostática a las partículas pulverizadas de pintura después de que salen de la boquilla del aspersor; dichas partículas son atraídas por el objeto que se está pintando, obteniendo así una capa uniforme y sin desperdicio de pintura.
- En la fabricación de papel abrasivo (de lija) para metales.
- En la fabricación de fibras para tejer alfombras y telas especiales.
- En los llamados precipitadores que cargan las partículas de humo de las grandes chimeneas para luego llevarlas a unas pantallas donde no puedan contaminar la atmósfera.



Figura 1.19. Rayos eléctricos

Manos a la obra: (Experimento)

Con el fin de entender mejor los conceptos anteriormente expuestos, vamos a desarrollar un sencillo experimento por medio del cual podremos generar electricidad estática y verificar los fenómenos que ésta produce.

Materiales necesarios:

- Dos (2) globos de inflar
- Un (1) paño suave
- Hilo

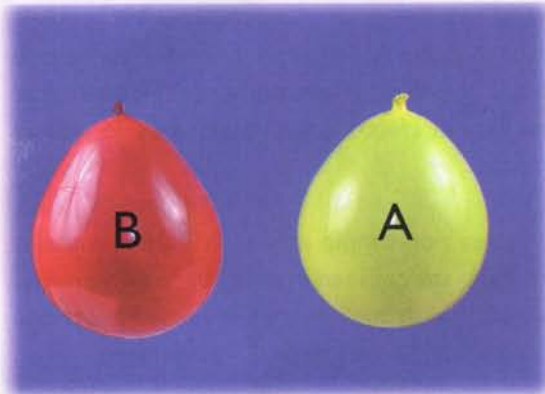


Figura 1.20

Procedimiento:

1. Infle dos globos de igual tamaño, sujételos pendiendo de un hilo y llámelos o márkelos con las letras A y B. Acérquelos un poco, teniendo cuidado de no llegar a juntarlos, tal como se muestra en la **figura 1.20**.

- ¿Qué observa?
- ¿Se unieron los globos?
- ¿Se alejan uno del otro?
- ¿Permanecen inmóviles?

2. Tome el globo identificado con la letra B y frote suavemente la superficie de éste con un paño suave durante unos instantes, como se muestra en la **figura 1.21**.

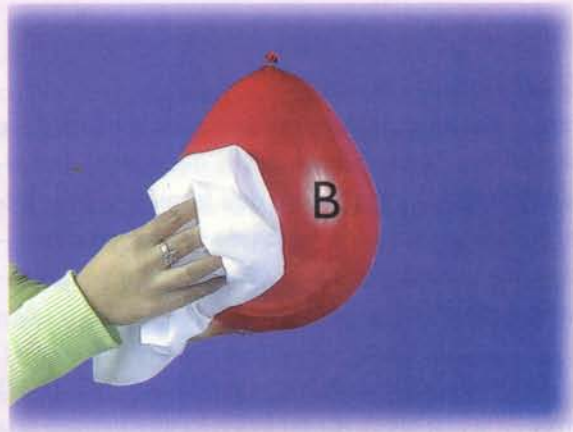


Figura 1.21

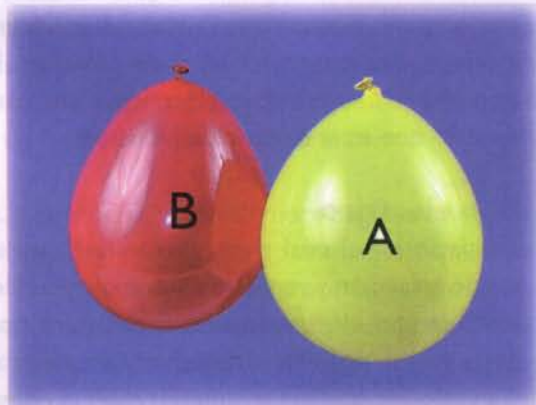


Figura 1.22

3. Acerque nuevamente los globos y observe lo que sucede. **Figura 1.22**.

4. Espere unos cuantos segundos y observe si ocurre algún cambio en la posición de los globos. **Figura 1.23**.

- ¿Qué sucedió?
- ¿Cómo puede explicar esto?

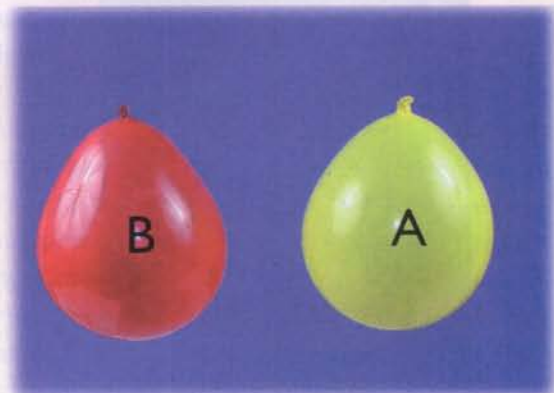


Figura 1.23

Conclusiones

Antes de frotar el globo identificado con la letra B, las cargas eléctricas de los dos materiales (globo B y paño), se encontraban neutralizadas; al frotar el globo, algunas órbitas de valencia se relacionaron entre sí y el paño robó electrones de valencia al globo, quedando este último cargado positivamente. Tal como mencionamos anteriormente, los materiales cargados tienden a recuperar su estado de equilibrio y para lograrlo necesitan descargarse. En nuestro caso vemos como, al acercar nuevamente el globo identificado con la letra B al identificado con la letra A, éste lo atrae con facilidad ya que tiende a recuperar los electrones perdidos.

Cuando el globo B ha robado los electrones necesarios al globo A, éste volverá nuevamente a su estado inicial; es decir, después de unos minutos el globo B se separa nuevamente del globo A. Las cargas acumuladas en el globo B se llaman cargas estáticas y el efecto que producen es lo que se conoce como electricidad estática.

Este fenómeno se produce también en los metales, ya sea por simple contacto de dos metales diferentes o por medio de un proceso llamado inducción. Pero sea cual sea el caso, los fenómenos de carga y descarga son siempre los mismos, ya que siempre que se acerquen entre sí dos materiales con cargas opuestas el exceso de electrones de uno será atraído por las cargas positivas de otro.

Electricidad dinámica

Para que la electricidad sea realmente útil, ésta debe permanecer en movimiento, es decir, debe ser dinámica o activa y la fuente que la genere debe estar en constante renovación de sus cargas eléctricas para que no pierda su capacidad en pocos segundos de trabajo.

El conde italiano Alessandro Volta (1745-1827) inventó la pila eléctrica en 1799, lo que originó una revolución científica en ese tiempo; se dio cuenta que mediante la acción química pueden restituirse constantemente las cargas eléctricas y que a medi-

da que circula la corriente por el circuito los electrones que salen del terminal negativo de la batería, son sustituidos por la misma cantidad de éstos (pertenecientes al conductor) que entran por el terminal positivo de la misma. **Figura 1.24**

Solo después de que Volta descubrió una fuente de electricidad constante, se pudo conocer lo que es en realidad un circuito eléctrico, y por consiguiente, lo que es la electricidad dinámica.

Campo eléctrico

Es el espacio en el cual pueden manifestarse las fuerzas de atracción y repulsión entre cargas eléctricas. El campo eléctrico rodea a cualquier tipo de carga, ya sea positiva o negativa y en general, rodea a cualquier objeto cargado tal como se muestra en la **figura 1.25**. Dicho campo puede representarse mediante innumerables líneas rectas que salen radialmente desde el centro de la carga y van dirigidas en todas direcciones. Estas líneas reciben el nombre de **líneas de fuerza eléctrica**, las cuales tienen fuerza natural que actúa en un sentido determinado, hacia afuera en los protones y hacia adentro en los electrones. Éste es el origen de las leyes de atracción y repulsión de las cargas.



Figura 1.24. Pila de volta

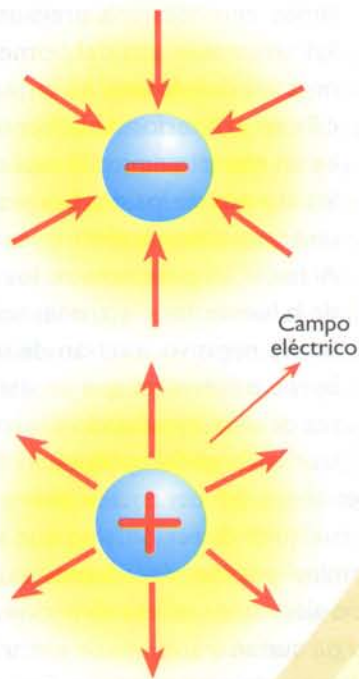


Figura 1.25. Campo eléctrico de una carga

De tal forma que cuando decimos que un electrón repele a otro **sin hacer contacto**, es la fuerza de repulsión entre las líneas de fuerza la que hace que las cargas se separen. Y, cuando decimos que un electrón y un protón se atraen, son las líneas de fuerza en el campo eléctrico quienes hacen que las cargas se unan.

De esta forma, podemos definir el campo eléctrico como **la fuerza de origen eléctrico ejercida sobre una carga, capaz de orientarla y moverla de un átomo a otro**. Si durante un proceso de carga se produce una acumulación de electrones sobre un objeto y de iones positivos sobre otro, cada cuerpo tiene su propio campo eléctrico. Estos campos son el resultado de la suma de todos los campos individuales de las cargas acumuladas y por tanto tienen una fuerza muy grande. **Figura 1.26**

Diferencia de potencial

En su estado natural, los átomos de los cuerpos se encuentran equilibrados o sea que todos poseen igual número de electrones y de protones. Un átomo o un cuerpo puede ser desequilibrado aplicando a éste una fuerza externa lo suficientemente

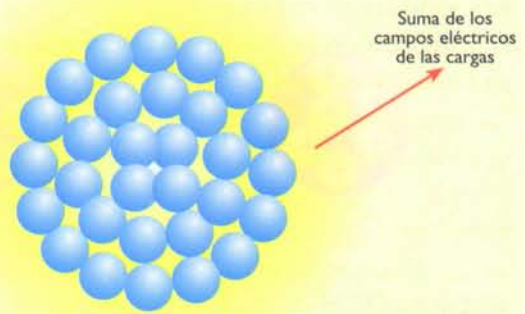


Figura 1.26. Campo eléctrico de un cuerpo

grande para hacer que el átomo pierda o gane electrones. Según lo anterior, se pueden presentar tres casos tal como se observa en la **figura 1.27**. En otras palabras, el potencial es el estado eléctrico en que se encuentra un cuerpo.

Observemos los dos átomos siguientes. Figura 1.28.

Comparando el estado de los dos átomos de la figura, vemos que existe una diferencia de potencial de cuatro electrones. De otra manera, pode-

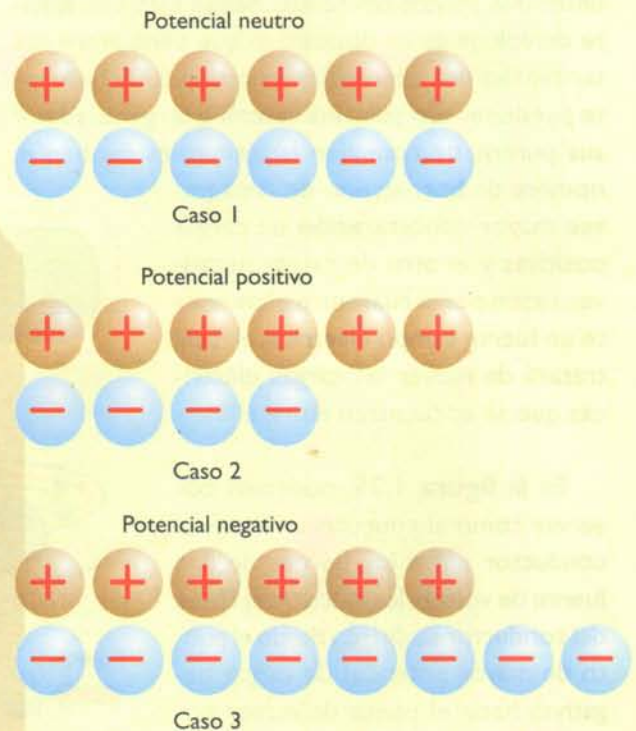


Figura 1.27. Potencial eléctrico

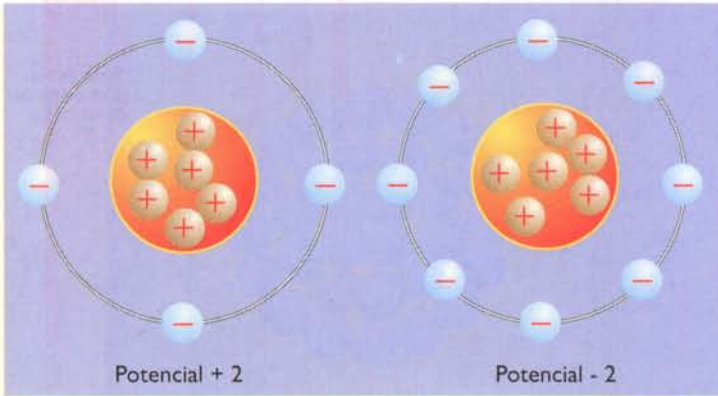


Figura 1.28. Diferencia de potencial

Podemos decir que la diferencia de potencial nos indica una diferencia entre átomos de potencial distinto, o lo que es lo mismo, hay diferencia de potencial cuando los átomos de uno y otro cuerpo son diferentes en su estado eléctrico. Esta diferencia de potencial se llama voltaje, tensión o fuerza electromotriz (FEM) y se define como la fuerza o presión capaz de obligar a los electrones libres de un conductor a moverse en una determinada dirección. Su unidad de medida es el voltio.

La diferencia de potencial solo puede existir entre dos puntos diferentes. Según esto una fuente de voltaje es un dispositivo que tiene entre sus terminales una diferencia de potencial. Dicha fuente puede ser una pila, una batería o un generador y sus puntos de conexión o terminales reciben el nombre de bornes; uno de ellos posee mayor concentración de cargas positivas y el otro de cargas negativas, razón por la cual entre ellos existe un fuerte campo eléctrico, el cual tratará de mover las cargas eléctricas que se encuentren entre ellos.

En la figura 1.29, podemos observar como al conectar un material conductor entre los bornes de una fuente de voltaje, los electrones libres del conductor se dirigen desde el punto de mayor potencial de cargas negativas hacia el punto de mayor potencial de cargas positivas. Nos formu-

lamos entonces una pregunta: ¿por qué los electrones van del borne positivo al negativo de la fuente? La respuesta es sencilla: en el interior de la fuente se produce un efecto químico el cual desequilibra los átomos de los dos bornes, quedando un borne con más electrones que el otro. Al hacer un puente entre los dos bornes de la fuente, los electrones sobrantes del borne negativo tratarán de irse hacia el borne positivo ya que en éste hay escasez de ellos, impulsando a su paso los electrones libres del conductor. Por tanto, los

electrones libres del conductor ahora no se moverán en cualquier dirección, sino que serán dirigidos al terminal positivo de la fuente originando así un flujo de electrones en esa dirección. Al impulso de la energía que se transfiere de electrón en electrón se llama corriente eléctrica. Esta solo es útil cuando se le hace desarrollar un trabajo a lo largo de un circuito eléctrico.

ES CONVENIENTE RECORDAR QUE: VOLTAJE, TENSIÓN, FUERZA ELECTROMOTRIZ Y DIFERENCIA DE POTENCIAL SE REFIEREN A LO MISMO.

La tensión se representa con la letra **U** en el sistema europeo y con la letra **E** en el sistema americano, para mayor facilidad emplearemos la letra **V** en el desarrollo del curso.

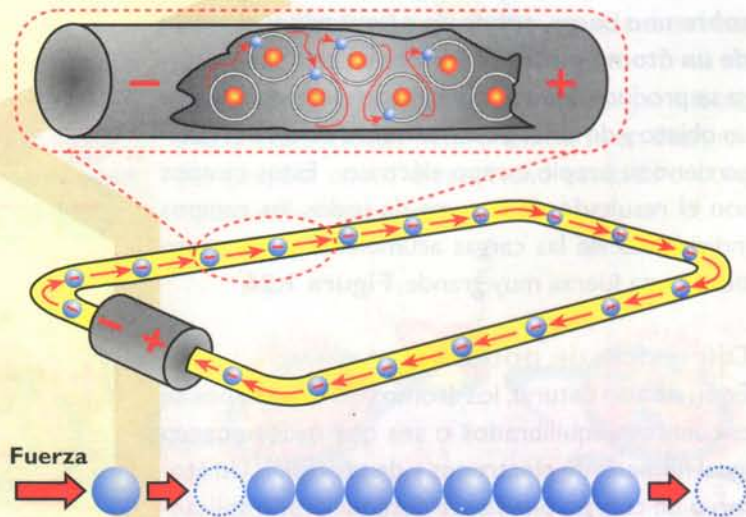


Figura 1.29. Circulación de los electrones

Formas de producir energía eléctrica en pequeñas cantidades

Por frotamiento o fricción

Como lo mencionamos anteriormente, el fenómeno de la electricidad es creado por el movimiento de electrones de sus órbitas naturales. La frotación o fricción fue la forma más antigua que conoció el hombre para generar electricidad. Se dice que fue el filósofo griego Tales de Mileto que vivió en el siglo 7 a.C. quien descubrió la electricidad; éste al frotar un trozo de ámbar con un trozo de tela o piel pudo atraer pequeños cuerpos livianos. Tales de Mileto no encontró la causa del fenómeno y quiso llamarlo de algún modo. Como ámbar en griego significa *elektron*, utilizó este nombre para esta fuerza invisible. Muchos siglos después se llamó **electrones** a las partículas de electricidad negativa que rodean el núcleo del átomo y que, cuando de alguna manera se mueven, forman la corriente eléctrica.

Hoy sabemos que la propiedad que Tales de Mileto descubrió en el ámbar no es solo de este material, sino que hay una gran cantidad de elementos con los que se puede repetir el experimento. En muchas de nuestras actividades diarias, voluntaria o involuntariamente se repite dicha experiencia. Por ejemplo, cuando se pasa varias veces un peine de plástico sobre el cabello seco, éste se carga eléctricamente; se comprueba si lo acercamos a unos trocitos de papel común, pues vemos como éstos son atraídos por el peine.

Ésta es una manifestación de la electricidad estática, la cual estudiamos al principio de esta lección. Al frotarse ambos materiales la piel pierde electrones y los mismos son ganados por el pei-



Figura 1.30. Producción de energía eléctrica por fricción

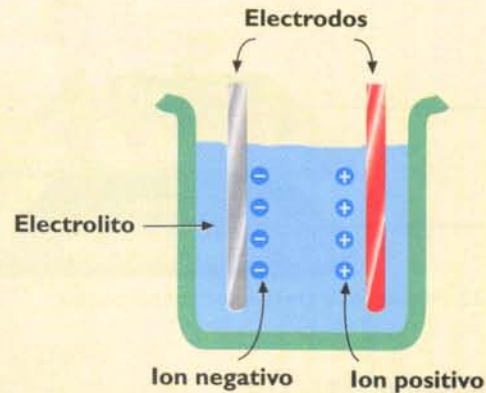


Figura 1.31. Producción de energía eléctrica por reacción química

ne. La piel se electriza positivamente y el peine negativamente. **Figura 1.30**

Otros ejemplos de electricidad por frotación o fricción:

- El roce de las nubes con el aire.
- La fricción de un automóvil con el aire al desplazarse por una carretera.
- La fricción de una prenda de vestir de lana o material sintético con la piel.
- La piel con la pantalla del televisor.
- El caminar sobre una alfombra, etc.

Finalmente podemos decir que, aunque ésta es la forma más antigua que se conoce para producir electricidad, es muy difícil manejarla y dosificarla; ella existe y se emplea industrialmente en casos particulares, pero producirla en grandes cantidades para consumo doméstico no es posible.

Por reacciones químicas

Es muy sencilla la forma de producir electricidad por acción química; como ya se dijo en el tema de electricidad dinámica, esto lo hacen las pilas y las baterías eléctricas. Su funcionamiento se basa en la reacción química entre dos elementos diferentes. Si se introducen dos placas metálicas o electrodos metálicos como el cobre y el zinc en una solución ácida más agua, se puede comprobar la existencia de una fuerza electromotriz entre las dos placas, tal como se muestra en la **figura 1.31**. Este tema lo trataremos ampliamente en una próxima lección.

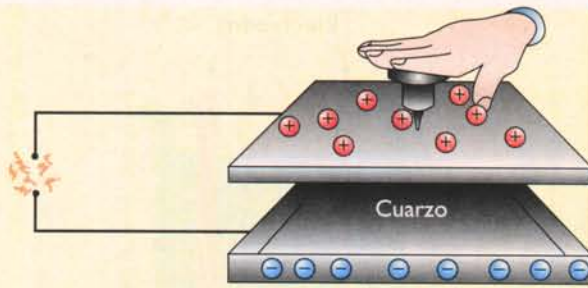


Figura 1.32. Producción de energía eléctrica por presión

Por presión o vibración

Ciertos cristales tienen propiedades piezoeléctricas, es decir, convierten la energía mecánica en energía eléctrica al ser sometidos a presión o vibración; estos son: el cuarzo, la turmalina, el titanio de bario, la sal de rochelle, etc. A este fenómeno se le llama **piezoelectricidad**. Como ejemplo de este principio, podemos mencionar los tocadiscos antiguos que utilizan un pequeño cristal piezoeléctrico con una aguja metálica, la cual, al pasar sobre la grabación del disco, presiona el cristal y genera pequeñas señales de fuerza electromotriz. Con la amplificación necesaria estas señales pueden hacer funcionar un parlante por medio del cual se escuchan los sonidos con un buen volumen.

Otra aplicación es el encendedor electrónico para la estufa de gas: cuando se acciona el pulsador, éste ejerce una presión sobre la superficie de un cristal de cuarzo y los electrones que se encontraban en dicha superficie saltan a la cara opuesta del cuarzo creando una diferencia de cargas entre ambas caras, generando la chispa. Los cristales piezoeléctricos tienen muchas aplicaciones en la industria: registran niveles de ruido, detectan cambios de presión, etc. **Figura 1.32**

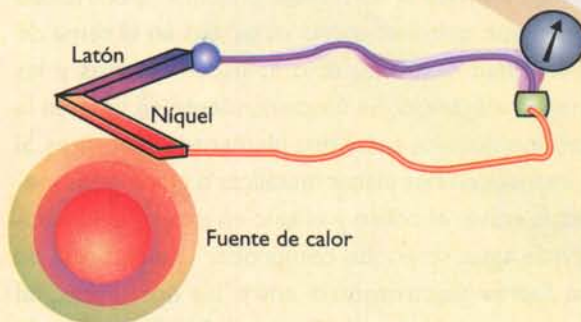


Figura 1.33. Producción de energía eléctrica por efecto termoelectrico

Por el calor y por la luz

Energía radiante es el nombre que se le da a la energía proporcionada por fuentes de calor o de luz. Muchas clases de instrumentos eléctricos y electrónicos aprovechan este fenómeno llamado **efecto termoelectrico** para convertir variaciones de temperatura en electricidad y con ello obtener mediciones de calor de cierta precisión a través de un termómetro eléctrico. El componente que produce electricidad a partir de la energía calórica se llama **termopar** y está formado por dos metales diferentes, por ejemplo, níquel y latón; en él la energía del calor lleva los electrones libres de un metal a otro, produciendo entre los dos una fuerza electromotriz (FEM). Los termopares tienen varias aplicaciones en el hogar y en la industria, se usan en termómetros, controles de temperatura en hornos y alarmas contra incendios, etc. **Figura 1.33**

También se puede obtener electricidad de la luz o de la energía lumínica; ello se consigue con una celda fotovoltaica, una celda fotoeléctrica o una batería solar, como las utilizadas en los satélites y naves espaciales para obtener energía eléctrica del sol. Una celda fotovoltaica es un sándwich de tres capas o materiales diferentes: una primera capa delgada y translúcida que deja pasar la luz que es recibida por una capa sensible de selenio o silicio, creándose de esta forma una fuerza electromotriz entre las dos capas exteriores. Las celdas fotovoltaicas también son utilizadas en estudios fotográficos, cámaras de vídeo, televisión, cámaras de fotografía automáticas, iluminación en vías públicas, ascensores, etc. **Figura 1.34**

Formas de producir grandes cantidades de energía eléctrica

Por medios magnéticos

Uno de los efectos más familiares y más usados de la corriente eléctrica es la facultad que tiene de producir una fuerza invisible y poderosa que llamamos **electromagnetismo**. Esta fuerza magnética es la que hace posible la operación de motores, generadores, transformadores, instrumentos de medidas eléctricas, equipos de comunicación, etc. **Figura 1.35**

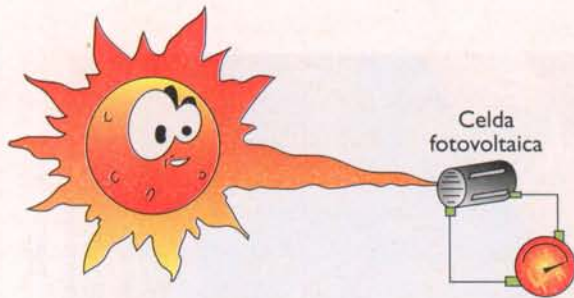


Figura 1.34. Producción de energía eléctrica por efecto de la luz

Es bueno entonces destacar lo importante que es la electricidad producida mediante el magnetismo, pues esta forma de energía posee características muy especiales que la hacen primero, la electricidad comercial más barata y segundo, la electricidad que prácticamente da origen a la electrónica. La electricidad por magnetismo se produce cuando un conductor, por ejemplo de cobre o una bobina, (alambre de cobre aislado y enrollado con muchas vueltas sobre un molde cilíndrico) se mueve dentro de la fuerza magnética de un imán. En ambos casos el campo magnético del imán impulsa los electrones libres del conductor de cobre.

Esta es la corriente que llega a través de los postes y extensas líneas de transmisión a nuestras casas para alimentar los aparatos eléctricos y que en muchos países se genera a una tensión de 120V y 60CPS (ciclos por segundo). Puede decirse entonces que esta corriente alterna se interrumpe 120 veces por segundo para que pueda cambiar de sentido y este fenómeno es tan rápido que prácticamente en una bombilla o lámpara eléctrica no se nota. La corriente alterna con todas sus características será estudiada

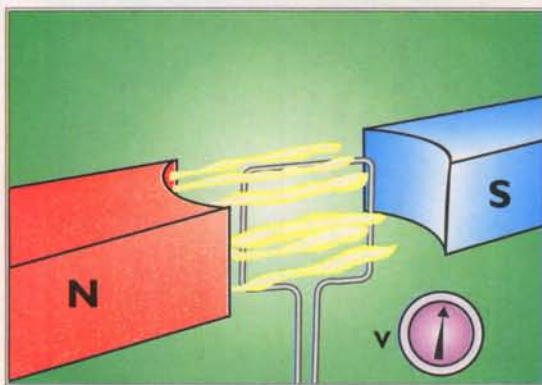


Figura 1.35. Producción de energía eléctrica por magnetismo

con más profundidad en una próxima lección. **Figura 1.36.** La corriente alterna se produce a gran escala por intermedio de grandes generadores que se encuentran en las llamadas centrales eléctricas.

Centrales eléctricas

Una central eléctrica es esencialmente una instalación que emplea una fuente de energía primaria para hacer girar las paletas o álabes de una turbina mediante agua, vapor o gas; éstas a su vez, hacen girar una gran bobina en el interior de un campo magnético, generando así electricidad. Éste es el principio básico de funcionamiento de la mayoría de las centrales eléctricas que hay en el mundo: transformar energía mecánica en energía eléctrica. No ocurre así en las instalaciones de tipo fotovoltaico (centrales solares), que transforman la energía lumínica de la radiación solar en energía eléctrica. Los principales tipos de centrales eléctricas son: las hidroeléctricas, las termoeléctricas, las nucleares y las solares.

Centrales hidroeléctricas

Tienen por finalidad aprovechar, mediante un desnivel, la energía potencial contenida en la masa de agua que transportan los ríos para convertirla en energía eléctrica utilizando turbinas acopladas a un generador. **Figura 1.37**

Centrales termoeléctricas

Se denominan centrales termoeléctricas aquellas que producen energía a partir de la combustión de carbón, fuel-oil o gas en una caldera diseñada para tal efecto. **Figura 1.38**

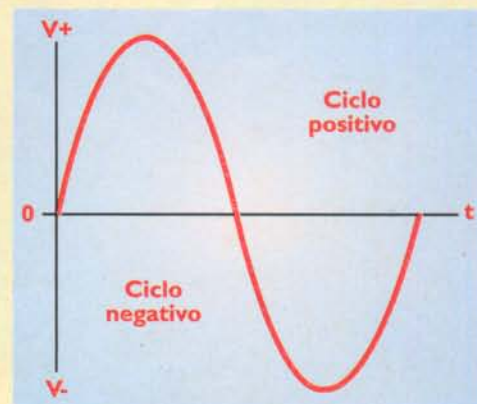


Figura 1.36. Forma de la corriente alterna

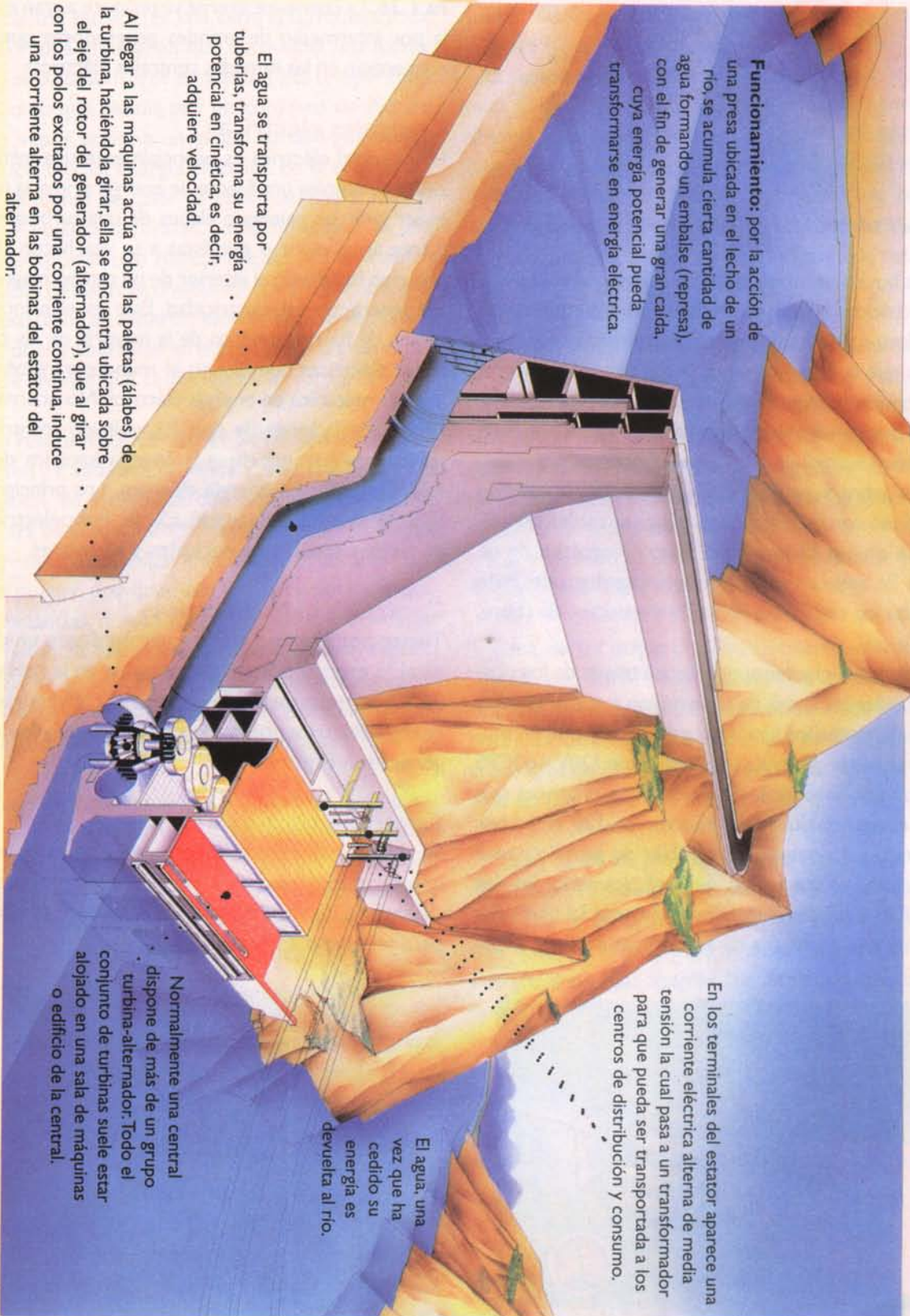


Figura 1.37. Central hidroeléctrica

El carbón triturado es enviado a la caldera y los quemadores provocan la combustión del carbón, fuel-oil o gas generando energía calórica. Ésta convierte en vapor el agua que circula por una extensa red formada por miles de tubos alrededor de la caldera.

Dentro de las instalaciones de la planta existen sistemas de almacenamiento del combustible (parque de carbón y depósitos de fuel-oil) para asegurar permanentemente una buena cantidad de éstos.

Para no afectar el entorno natural, estas plantas llevan incorporados una serie de sistemas y elementos tales como chimeneas de gran altura para la dispersión de partículas en la atmósfera, filtros electrostáticos o precipitadores para retener las partículas en el interior de la central, lo que conlleva a millonarias inversiones para evitar la contaminación del medio ambiente.

Si es carbón, éste es previamente triturado hasta que puedan convertirlo en un polvo fino para facilitar su combustión.

Ya debilitada la presión del vapor, es enviado a unos condensadores, allí es enfriado y convertido de nuevo en agua, para volver a iniciar el ciclo.

El vapor entra a gran presión en la turbina y hace girar las paletas (átaves), que unidas al eje del generador lo hacen girar produciendo así energía eléctrica que luego se transporta mediante la ayuda de un transformador.

Figura 1.38. Central termoelectrica

Centrales nucleares

Una central nuclear es una central termoeléctrica, es decir, una instalación que aprovecha una fuente de calor para convertir en vapor a alta temperatura un líquido que circula por un conjunto de ductos, dicho vapor acciona un grupo turbina-generador, produciendo así energía eléctrica. En la central nuclear la fuente de calor se consigue mediante la *fisión* de núcleos de uranio. La fisión nuclear es una reacción por la cual ciertos núcleos de elementos químicos pesados se dividen en dos fragmentos por el impacto de un neutrón, emitiendo a su vez varios neutrones y liberando en el proceso una gran cantidad de energía que se manifiesta en forma de calor.

La reacción nuclear por fisión fue descubierta por O. Hahn y F. Strassman en 1938 cuando detectaron la presencia de elementos de pequeña masa en una muestra de uranio puro irradiado por neutrones. Los neutrones que resultan emitidos en la reacción por fisión pueden provocar, a su vez, y en determinadas circunstancias, nuevas fisiones de otros núcleos. Se dice entonces que se está produciendo una reacción nuclear en cadena. Por tanto, los reactores nucleares son máquinas que permiten iniciar, mantener y controlar una reacción en cadena de fisión nuclear.

Las centrales nucleares incorporan el más sofisticado equipo de seguridad, hasta el punto de que en ellas se invierte más de 1/3 del capital total de la planta. Igualmente, el medio ambiente que rodea la instalación es objeto constante de trabajos de vigilancia radiológica. **Figura 1.39**

Centrales solares

Son diversos los sistemas de aprovechamiento solar que existen en la actualidad y que tratan de utilizar la gran cantidad de energía que emite constantemente el sol, la que llega a nuestro planeta en forma de radiación. El sol viene a ser efectivamente una especie de gigantesco reactor nuclear de fusión. La energía solar llega a la superficie de la tierra por dos vías diferentes: incidendo en los objetos iluminados por el sol (radiación directa), o como reflejo de la radiación solar absorbida por el aire y el polvo (radiación difusa). Solo es aprovechable la primera de manera eficaz y en forma masiva.

Entre las ventajas que ofrece la energía solar se suele citar su carácter gratuito y el ser inagotable a escala humana. En la actualidad, la energía solar está siendo aprovechada mediante dos vías: la térmica y la fotovoltaica. La primera transforma la energía solar en calorífica. La segunda convierte directamente la energía solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico; estos son los aprovechados para la producción de la energía eléctrica y se llaman centrales termoeléctricas de receptor central. **Figura 1.40**

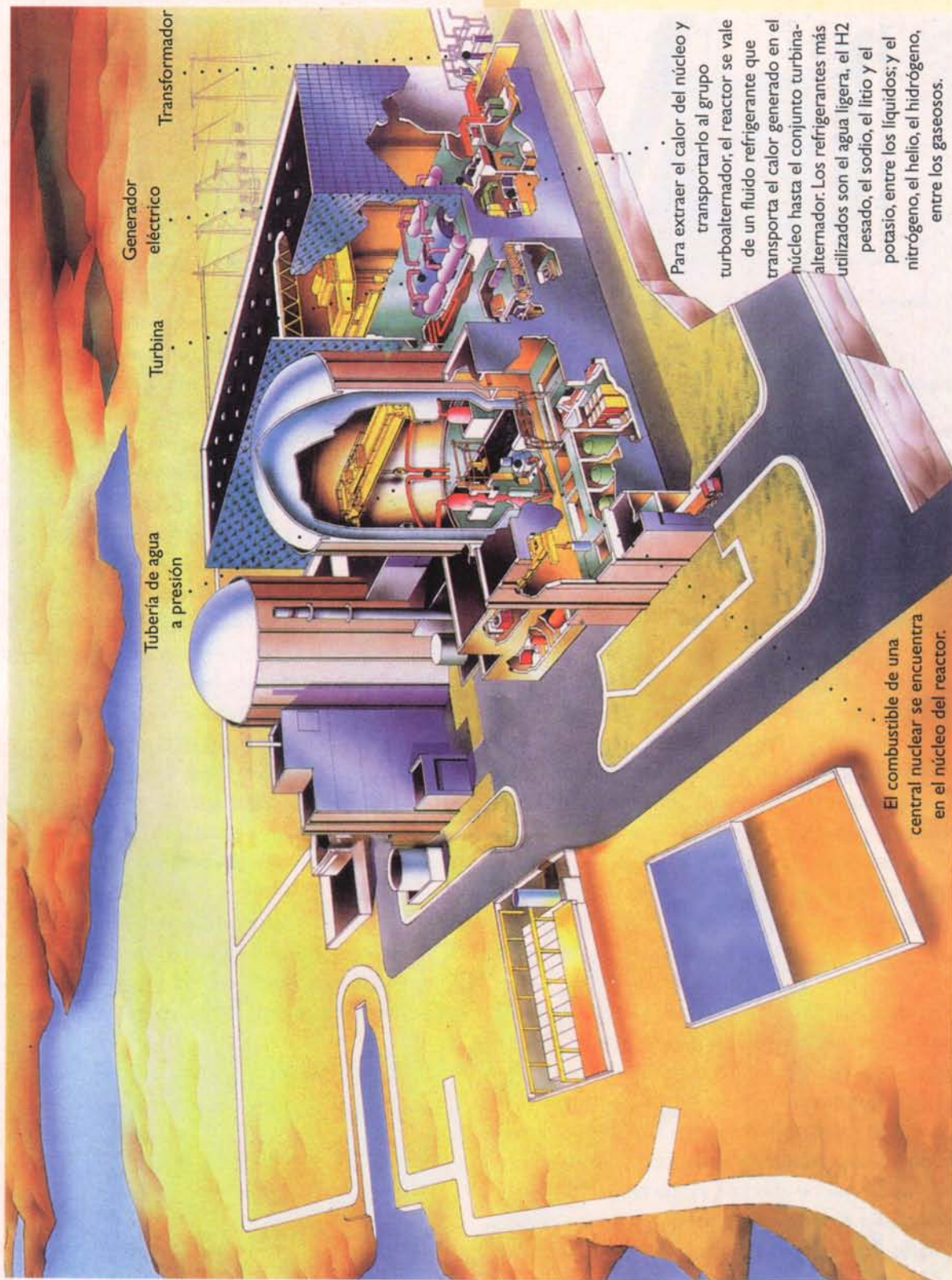
Constan de una amplia superficie de heliostatos, es decir, grandes espejos sostenidos por soportes que reflejan la radiación solar y la concentran en un punto receptor instalado en una torre. Los espejos poseen mecanismos electrónicos que reciben órdenes que hacen que se muevan de modo que en todo momento estén en posición de recibir con mayor intensidad la radiación solar y concentrarla eficazmente en el receptor central instalado en la torre.

Una de las mayores centrales termoeléctricas solares tipo torre es la de Barstow, en California (E.E.U.U.) que posee 10 megavatios eléctricos de potencia. Consta de 1.818 espejos de 39.3 metros cuadrados de superficie cada uno y el receptor alojado en una torre de 77 metros de altura.

Otra forma de producir energía eléctrica en menor escala es utilizando la fuerza del viento, por medio de lo que se denomina una **central eólica**. Al igual que ocurre con otras muchas de las llamadas nuevas energías o energías alternas, la eólica es una fuente de energía. La energía eólica es producida por el movimiento del aire y ha sido empleada desde hace muchos siglos, por ejemplo, en el transporte marítimo.

La energía eólica puede ser utilizada con cierta eficacia en zonas determinadas donde las características del viento cumplen una serie de condiciones tales como continuidad, estabilidad, etc.

Las máquinas que son movidas por la energía eólica para producir energía eléctrica reciben el nombre de aerogeneradores o turbinas eólicas.



Para extraer el calor del núcleo y transportarlo al grupo turboalternador, el reactor se vale de un fluido refrigerante que transporta el calor generado en el núcleo hasta el conjunto turbina-alternador. Los refrigerantes más utilizados son el agua ligera, el H₂ pesado, el sodio, el litio y el potasio, entre los líquidos; y el nitrógeno, el helio, el hidrógeno, entre los gaseosos.

El combustible de una central nuclear se encuentra en el núcleo del reactor.

Figura 1.39. Central nuclear



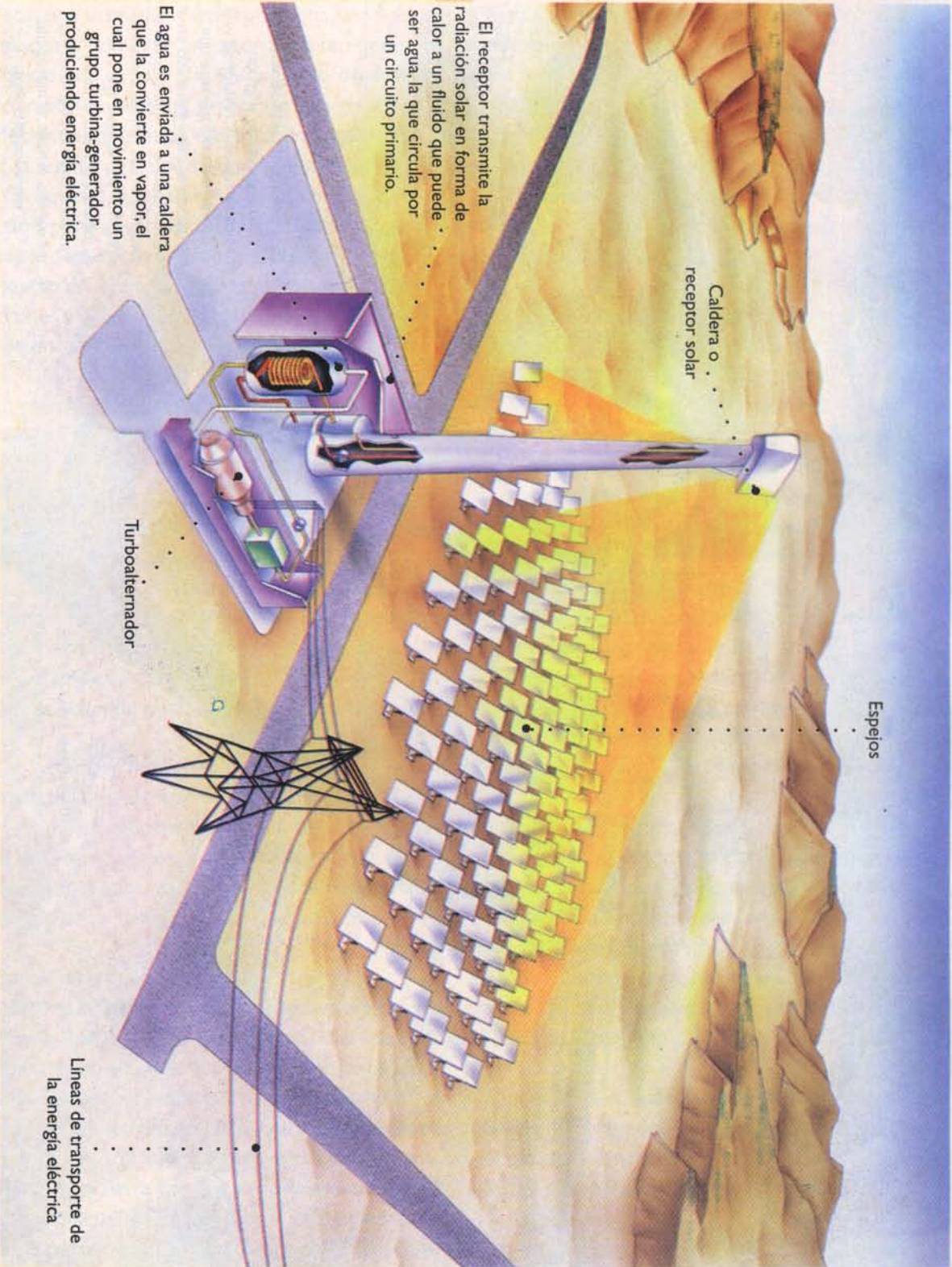
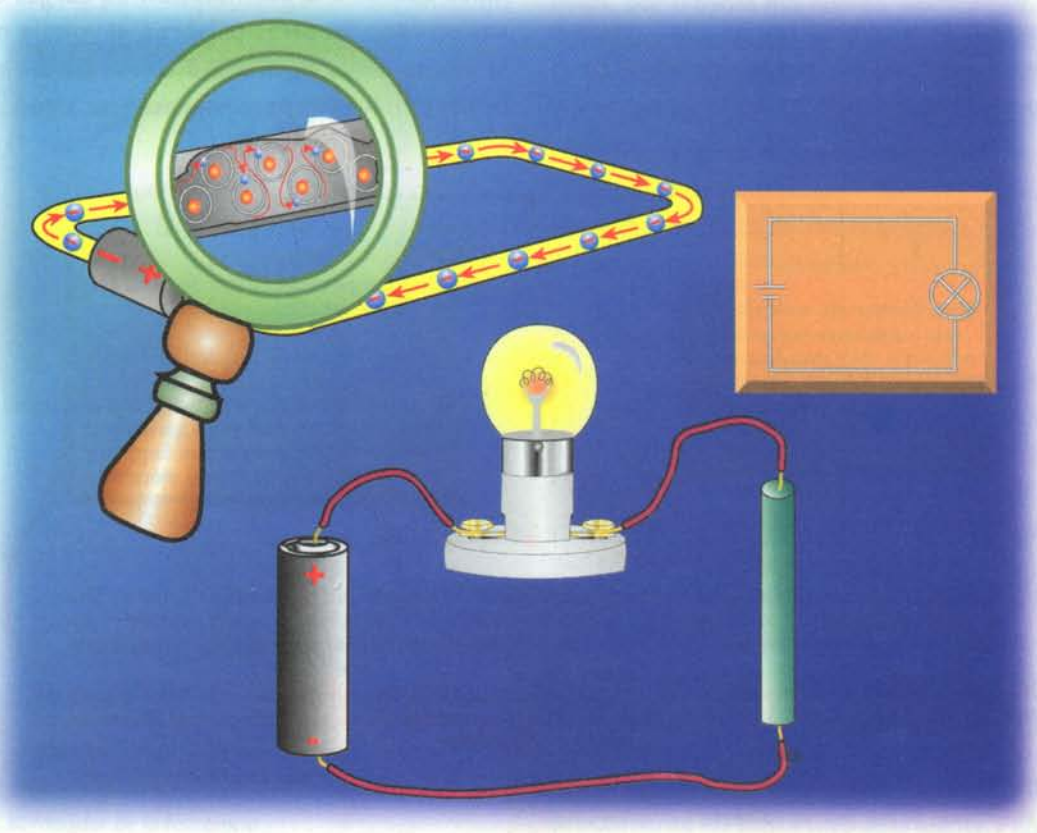


Figura 1.40. Central solar

Lección 2

Conceptos básicos acerca de los circuitos eléctricos y electrónicos

Después de que el hombre descubrió la energía eléctrica y la forma de producirla en grandes cantidades quiso emplearla de manera productiva, razón por la cual se crearon los llamados circuitos eléctricos. En esta lección nos dedicaremos al estudio de los circuitos y los elementos que los conforman.



¿Qué es un circuito eléctrico?

Es una combinación de componentes conectados entre sí de manera que proporcionen una o más trayectorias cerradas que permitan la circulación de la corriente y el aprovechamiento de ésta para la realización de un trabajo útil. Si el camino no es continuo, no hay circulación de la corriente. Dicho trabajo puede implicar:

- La conversión de la energía eléctrica en otras formas de energía o viceversa.
- La conversión de señales eléctricas de un tipo, en señales eléctricas de otro tipo.

Todo circuito, por sencillo que parezca, posee tres características importantes:

- Posee una fuente de voltaje; sin ésta no puede establecerse un flujo de corriente.
- Existe una trayectoria cerrada, por la cual circula la corriente desde un extremo de la fuente de voltaje hasta el otro, pasando por el circuito externo.
- La trayectoria o camino por el cual circula la corriente, presenta cierta oposición a su paso. Esto puede generar calor o limitar el paso de la

corriente, lo que equivale también a una pérdida de energía que en la mayoría de los casos no se tiene en cuenta.

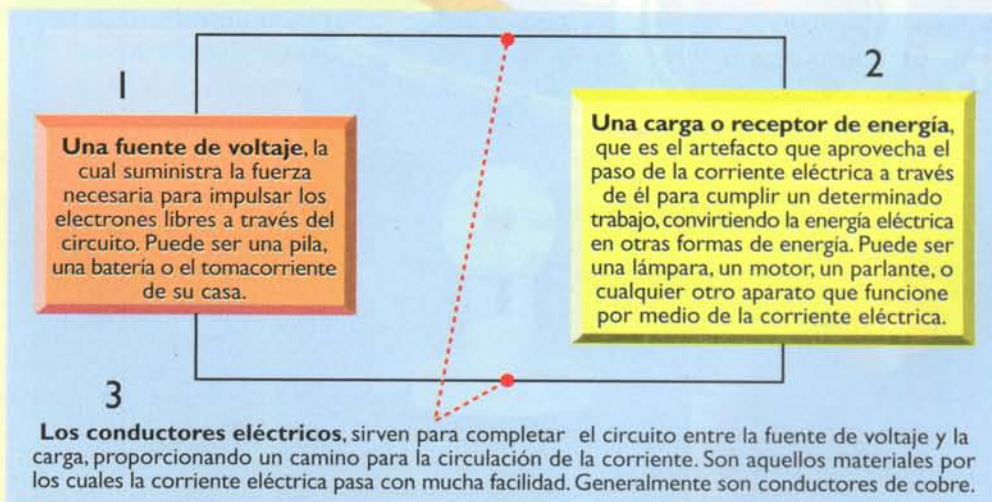
Los circuitos eléctricos y electrónicos, aunque pueden estar conformados físicamente por una gran cantidad de componentes, lo cual los hace ver muy complejos, están todos compuestos por tres elementos básicos. **Figura 2.1**

La fuente de voltaje

Suministra la fuerza necesaria para impulsar una corriente de electrones a través de los circuitos. Dicha fuerza recibe el nombre de **voltaje**.

El voltaje

Para que haya un flujo de corriente a través de un circuito es necesario aplicar una fuerza capaz de mover los electrones libres que se encuentran en el circuito, llamada **voltaje** y es proporcionada por una fuente la cual, recordemos, posee una diferencia de potencial entre sus terminales debido a la acumulación de cargas eléctricas en ellos. En otras palabras, el voltaje nace en la fuente. En la **figura 2.2** se muestran los símbolos empleados para representar algunos tipos



Pueden existir otros componentes como interruptores y otros dispositivos para controlar el paso de la corriente, además de dispositivos de protección que protegen la carga contra niveles de voltaje o corriente anormales.

Figura 2.1. Estructura básica de un circuito. El circuito eléctrico es un camino cerrado por el cual viaja la corriente eléctrica. Si el camino no es continuo, no hay flujo de corriente

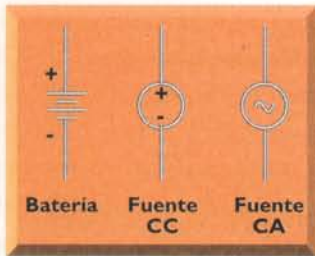


Figura 2.2. Simbología de las fuentes de voltaje comunes

de fuentes comunes. Los voltajes en un circuito se designan en varias formas dependiendo de su naturaleza, así:

- El voltaje entre los terminales de la fuente de alimentación, se denomina **fuerza electromotriz (FEM)**
- El voltaje entre los terminales de una carga, es llamado **caída de voltaje**.
- El voltaje entre dos puntos cualesquiera de un circuito, se llama **diferencia de potencial**.

El voltaje o fuerza aplicada a los circuitos puede ser básicamente de dos formas:

- Si los electrones se impulsan siempre en la misma dirección, es decir, que la fuente conserva siempre la misma polaridad, el voltaje es continuo (VCC).
- Si por el contrario, los electrones se impulsan primero en una dirección y luego en la otra alternando continuamente la dirección de la fuerza, es decir, cambiando alternativamente de polaridad, el voltaje es alterno (VCA).

Tanto la corriente como los componentes que conforman los circuitos reaccionan de manera diferente ante las dos formas de voltaje; esto lo estudiaremos en una próxima lección.

Unidad de medida

La unidad empleada para medir el trabajo realizado por la fuente al mover los electrones, recibe el nombre de **voltio (V)**. El número de voltios representa la cantidad de fuerza aplicada a un circuito; a mayor voltaje, mayor será la fuerza aplicada al circuito y por lo tanto habrá mayor corriente. Sin

embargo en electricidad y electrónica se manejan voltajes mayores y menores que el voltio, por lo cual es necesario disponer, además de la unidad fundamental, de otras unidades secundarias de medida denominadas múltiplos y submúltiplos.

- Los múltiplos, son unidades mayores que la unidad fundamental, y contienen a ésta varias veces exactamente.
- Los submúltiplos, por el contrario, son unidades de medida más pequeñas que la unidad fundamental y se encuentran contenidos en ésta varias veces exactamente.

En la **Tabla 2.1** se muestra un resumen de los múltiplos y submúltiplos del voltio.

Conversión de unidades

Para hacer los cálculos necesarios para la aplicación de fórmulas matemáticas en electricidad y electrónica, necesitaremos con frecuencia convertir una unidad dada en otra más grande o más pequeña. Para convertir pequeñas unidades en grandes y viceversa, se siguen las siguientes reglas prácticas:

- Para convertir de **voltios a milivoltios** se multiplica por mil (1.000) el número de voltios dados, lo que equivale a correr el punto decimal tres lugares a la derecha en la cantidad de voltios. Ejemplos:

Convierta 0,532 voltios en milivoltios.
Multiplicamos por 1.000 los voltios dados:

$$0,532 \times 1.000 = 532$$

Es decir, 0,532 voltios equivalen a 532 mV.

	PREFIJO	SÍMBOLO	FACTOR DE MULTIPLICACIÓN
Múltiplos	Kilovoltio	KV	$\times 1.000$
	Megavoltio	MV	$\times 1'000.000$
Unidad básica	Voltio	V	$\times 1$
Submúltiplos	milivoltio	mV	$\times 0,001$
	microvoltio	μ V	$\times 0,000001$

Tabla 2.1. Múltiplos y submúltiplos del voltio

- Para convertir **milivoltios** en **voltios** se divide el número de milivoltios dados entre mil (1.000). Esto equivale a correr el punto decimal tres lugares a la izquierda en la cantidad de milivoltios. Ejemplos:

Convierta 12 milivoltios en voltios.

Dividimos entre 1.000 los milivoltios dados:

$$\frac{12}{1000} = 0,012$$

Es decir, 12 milivoltios equivalen a 0,012 voltios.

¿Con qué se mide?

El voltaje o fuerza electromotriz puede ser medido; para ello se emplea un instrumento llamado **voltímetro**. Éste debe conectarse en paralelo con el elemento en el cual desea hacerse la medición, tal como se muestra en la **figura 2.3**. Antes de usar este instrumento es necesario tener en cuenta la polaridad y seleccionar un rango o escala superior al voltaje máximo que se desea medir. Su manejo se trata con mayor profundidad en la sección de electrónica práctica.

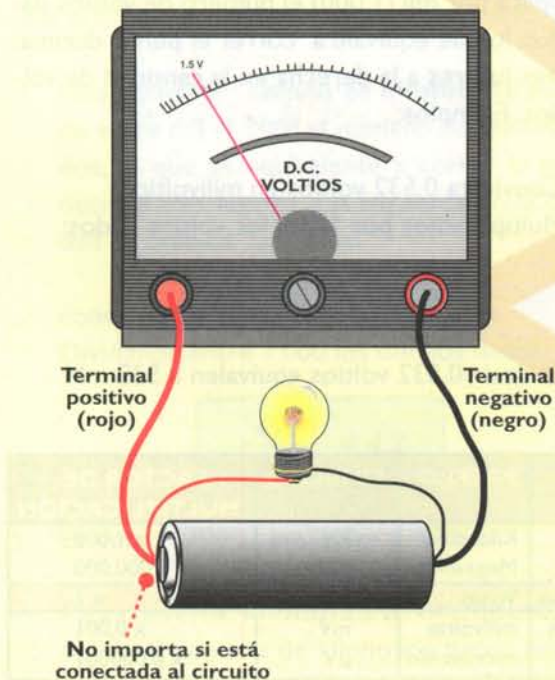


Figura 2.3. Medición del voltaje



Figura 2.4. Simbología de las cargas comunes

La carga o receptor de energía

Ésta convierte la energía de los electrones en movimiento en señales eléctricas u otras formas de energía. En la **figura 2.4** se muestran los símbolos empleados para representar algunos tipos de carga comunes como una resistencia, una lámpara, un motor o un parlante. El hecho de que un material por el cual está circulando corriente se caliente, demuestra que el voltaje aplicado efectúa un trabajo para mover electrones contra cierta oposición. Esta oposición al paso de la corriente, se denomina **resistencia**. Dicho concepto se estudiará más adelante.

Los conductores

Éstos proporcionan un camino fácil o de baja resistencia para la circulación de la corriente hacia y desde la carga. A este grupo pertenecen todos los materiales en los cuales la corriente eléctrica pasa con suma facilidad, como son los metales y el agua, entre otros. La habilidad de un material para conducir depende de la abundancia de electrones libres que haya en él. Se representan mediante líneas rectas, debido a que el grado de oposición que éstos presentan al paso de la corriente es tan pequeño (aproximadamente cero), que puede despreciarse.

Por el contrario, existe otro tipo de materiales que ofrecen mucha oposición al paso de la corriente y por tanto, se les utiliza para bloquear o aislar el paso de ellas. Se llaman también malos conductores o aislantes, debido a que poseen muy pocos electrones libres en sus átomos, por esto el paso de la corriente es tan pequeño que se considera equivalente a cero. El vidrio, la cerámica, los plásticos y las fibras sintéticas en general, son sustancias aisladoras.

Conductores más usados

En la lección No. 1 aprendimos que los mejores conductores son aquellos que en la órbita de valencia poseen menos de cuatro (4) electrones; en conclusión, podemos afirmar que el cobre, el oro, la plata y el aluminio son los metales mejores conductores. El hierro, aunque es un metal, no es tan buen conductor como los anteriores debido a que posee dos electrones de valencia, lo que lo hace más estable.

¿Con qué se prueban?

La prueba de los conductores se estudia en la sección de electrónica práctica. Pero aquí mostramos una forma sencilla de hacerlo que no requiere de ningún conocimiento previo sobre el manejo de equipos. Consiste en conectar el conductor con una pila y una lámpara como se muestra en la **figura 2.5**. Si la lámpara se enciende, podemos afirmar que el conductor se encuentra en buen estado, lo contrario significa que no lo está.

Los conductores pueden probarse también mediante el óhmetro, empleado para medir resistencias, o mediante un probador de continuidad. Como ya lo habíamos mencionado, la resistencia de los conductores es casi cero, por lo tanto, al conectar los dos extremos del conductor con el óhmetro, tal como se muestra en la **figura 2.6** éste debe marcar una lectura muy baja o igual a cero; lo contrario, si marca una lectura muy alta,

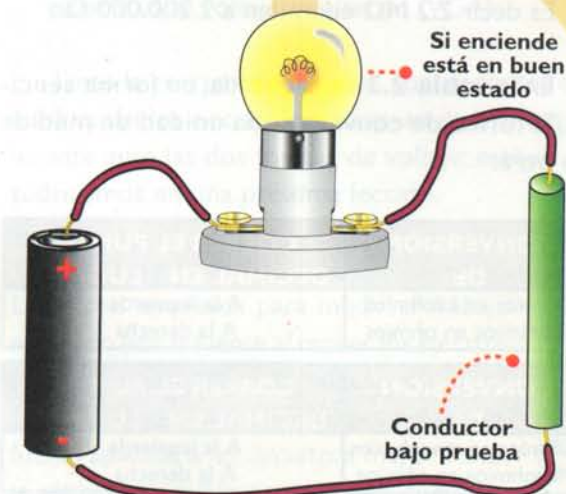


Figura 2.5. Prueba de conductores

Si la aguja marca 0Ω está en buen estado

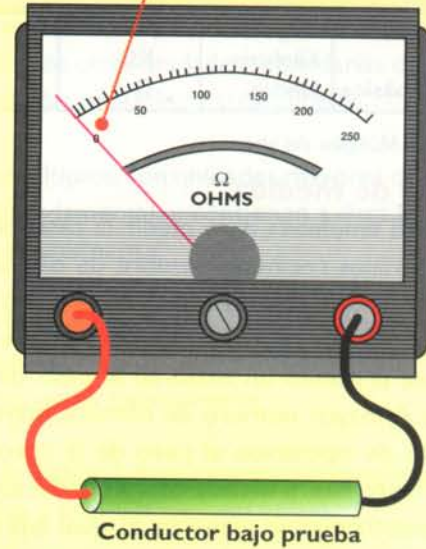


Figura 2.6. Prueba con el óhmetro

esto nos indicará que el conductor se encuentra roto o abierto. Para emplear el óhmetro no debe circular corriente por el elemento en el cual se desea hacer la medición. Para mayor información acerca de la prueba de conductores, consulte en la sección de electrónica práctica.

Resistencia

Todos los materiales conductores o aisladores ofrecen cierta oposición al paso de la corriente, propiedad que se llama **resistencia**. La facilidad de movimiento de los electrones en un material depende del tipo de átomos que lo constituyen. Así, los cuerpos aislantes son pobres en electrones libres, mientras que los materiales conductores son ricos en electrones libres. Se dice entonces que los aisladores tienen una resistencia muy alta y que los conductores una resistencia muy baja. Por lo tanto, no existe ningún conductor o aislador perfecto pues todos los materiales tienen resistencia. Por ello, la resistencia se define como el grado de oposición que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica. La resistencia se representa con el símbolo que aparece en la **figura 2.7**.



Figura 2.7. Símbolo de la resistencia

	PREFIJO	SÍMBOLO	FACTOR DE MULTIPLICACIÓN
Múltiplos	Megohmio	MΩ	x 1'000.000
	Kilohmio	KΩ	x 1.000
Unidad básica	Ohmio	Ω	x 1

Tabla 2.2. Múltiplos del ohmio

Unidad de medida

La unidad empleada para medir la resistencia de los materiales recibe el nombre de **ohmio** y se representa con la letra griega *omega* (Ω). El número de ohmios representa la cantidad de oposición que presenta un material al paso de la corriente. A mayor número de ohmios, mayor será el grado de oposición al paso de la corriente y por lo tanto habrá menos corriente. En electricidad y electrónica se manejan, al igual que sucede con el voltaje, valores de resistencia mayores que el ohmio, por lo cual es necesario disponer también de otras unidades secundarias de medida. Los valores grandes de resistencia se nombran utilizando los prefijos kilo (1.000) y mega (1.000.000). En la **tabla 2.2**, se muestra un resumen de los múltiplos del ohmio.

Conversión de unidades

Para convertir una unidad de medida en otra se sigue el mismo procedimiento que con el voltaje, así:

- Para convertir **ohmios** en **kilohmios**, se divide entre mil (1.000) el número de ohmios dados, lo que es equivalente a correr el punto decimal tres lugares a la izquierda en la cantidad de ohmios. Ejemplos:

convierta 4.700 ohmios en kilohmios.
Dividimos entre 1.000 los ohmios dados:

$$\frac{4700}{1000} = 4,7$$

Es decir, 4.700 Ω equivalen a 4,7 KΩ

- Para convertir **kilohmios** en **ohmios**, se multiplica el número de kilohmios dados por mil (1.000); esto equivale a correr el punto decimal tres lugares a la derecha en la cantidad de ki-

lohmios dados. Ejemplo: convierta 220 kilohmios en ohmios. Para hacerlo multiplicamos por 1.000 los kilohmios dados:

$$220 \times 1000 = 220.000$$

Es decir, 220 kΩ equivalen a 220.000 Ω.

- Para convertir **ohmios** en **megohmios**, se divide entre un millón (1.000.000) el número de ohmios dados, lo que es equivalente a correr el punto decimal seis lugares a la izquierda en la cantidad de ohmios. Ejemplo: convierta 1.000.000 ohmios en megohmios. Para hacerlo dividimos entre 1.000.000 los ohmios dados:

$$\frac{1'000.000}{1'000.000} = 1$$

Es decir 1.000.000 Ω equivalen a 1 MΩ.

- Para convertir **megohmios** en **ohmios**, se multiplica el número de ohmios dados por un millón (1'000.000); esto equivale a correr el punto decimal seis lugares a la derecha en la cantidad de megohmios dados. Ejemplo: convierta 2.2 megohmios en ohmios. Para hacerlo, multiplicamos por 1.000.000 los ohmios dados:

$$2.2 \times 1'000.000 = 2'200.000$$

Es decir 2.2 MΩ equivalen a 2.200.000 Ω.

En la **tabla 2.3** se recuerda, en forma sencilla, la forma de convertir una unidad de medida en otra.

CONVERSIÓN DE	CORRER EL PUNTO DECIMAL EN 3 LUGARES
Ohmios en kilohmios	A la izquierda
Kilohmios en ohmios	A la derecha

CONVERSIÓN DE	CORRER EL PUNTO DECIMAL EN 6 LUGARES
Ohmios en megohmios	A la izquierda
Megohmios en ohmios	A la derecha

Tabla 2.3. Resumen conversión de unidades



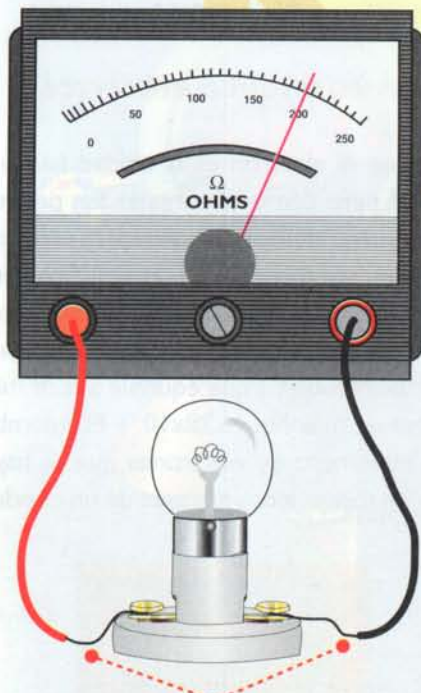
¿Con qué se miden?

En la práctica las resistencias son medidas con un instrumento llamado óhmetro, el cual debe ser conectado con la resistencia que se quiere medir sin importar la polaridad, tal como se observa en la **figura 2.8**.

Nunca debemos medir la resistencia en un circuito por el cual está circulando corriente. La forma correcta de manejar el óhmetro se trata con detalle en la sección de electrónica práctica.

Circuito abierto (open circuit)

Como lo hemos venido mencionando, para que haya flujo de corriente en el circuito es indispensable que exista una trayectoria continua, es decir, un camino cerrado. Cuando cualquier parte de la trayectoria se abre, decimos que el circuito se encuentra abierto puesto que no hay continuidad en la trayectoria de conducción y por consiguiente el flujo de electrones se detiene. La resistencia de un circuito abierto es infinitamente alta.



Deben estar desconectados del resto del circuito

Figura 2.8. Medidor de la resistencia



Figura 2.9. Causas de un circuito abierto

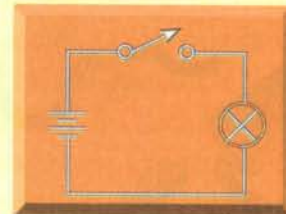


Figura 2.10. Representación del circuito abierto

Un circuito abierto puede producirse por una conexión suelta, porque la resistencia de carga está quemada, por uniones mal hechas, por contactos flojos o roturas en el conductor. Si se están usando dispositivos de protección, posiblemente ellos estén quemados. Algunos de estos casos se observan en la **figura 2.9**. Dichas fallas se detectan generalmente a simple vista. Además, cada vez que abrimos un interruptor, estamos produciendo un circuito abierto. En la **figura 2.10** se muestra la manera como se representa un circuito abierto.

Cortocircuito (short circuit)

Ya vimos como un circuito abierto impide el flujo de corriente. Estudiemos ahora el caso contrario, los cortocircuitos. En este caso existe una trayectoria cerrada entre los terminales de la fuente, pero la resistencia de esta trayectoria es prácticamente igual a cero, lo cual hará circular un flujo de corriente mayor al normal. En la **figura 2.11** se muestra la forma de representar esta situación. Generalmente el cortocircuito se produce por una derivación a través de la resistencia de carga, es decir, por instalar un alambre entre los dos bordes del receptor, cuando se tocan dos conductores desnudos, o cuando se conectan directamente los terminales de la fuente. **Figura 2.12**



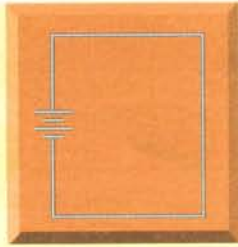


Figura 2.11. Cortocircuito

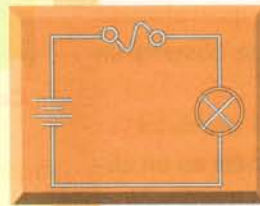
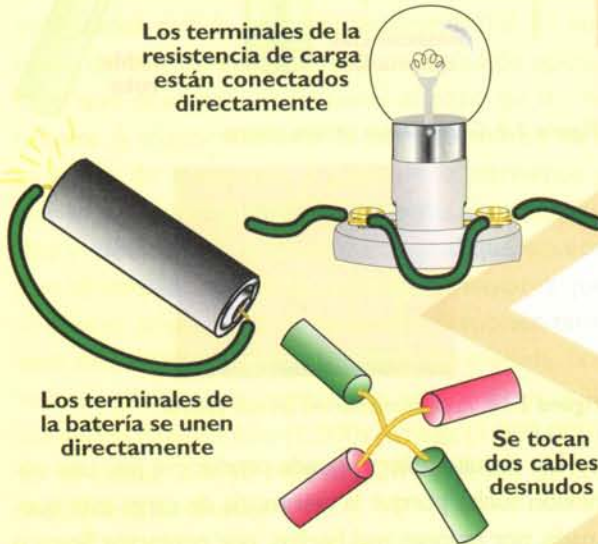


Figura 2.14. Protección contra cortocircuito



Los terminales de la resistencia de carga están conectados directamente

Los terminales de la batería se unen directamente

Se tocan dos cables desnudos

Figura 2.12. Posibles causas de cortocircuito

¿Qué puede suceder si se ocasiona un cortocircuito?

Al aumentar la corriente en forma excesiva, se produce en el circuito un calentamiento de los conductores que deteriora los aislamientos y produce chispas que pueden ocasionar incendios y daños en los equipos. Analicemos el ejemplo de la figura 2.13. Un cortocircuito a través de los alambres que llevan la corriente a la lámpara, provocará que por éstos fluya



Figura 2.13. Cortocircuito real

una corriente muy grande, pero ninguna a través de la lámpara. En este caso decimos que la lámpara está en cortocircuito, ésta no sufre ningún daño, pero los conductores pueden calentarse hasta quemarse. Para evitar esto se pueden usar unos dispositivos que protejan al circuito contra el flujo excesivo de corriente, llamados **fusibles**, los cuales se estudian detalladamente en la sección de componentes. **Figura 2.14**

Queda entonces claro que para que haya circulación de corriente el circuito debe estar cerrado y además, debe existir una carga que controle el flujo de corriente. **Figura 2.15**

La corriente eléctrica

Sabemos que el electrón es la unidad básica de la electricidad, pero como su carga es tan pequeña, es necesario mover millones de ellos para producir una corriente que sea apreciable. Como dichos números son tan grandes sería muy difícil expresarlos con palabras. Por ello se ha creado una unidad más práctica llamada **culombio (C)** que equivale a 6.28 millones de millones de millones (6.28×10^{18}). El culombio representa el número de electrones que se hayan en reposo o en movimiento a través de un conductor.

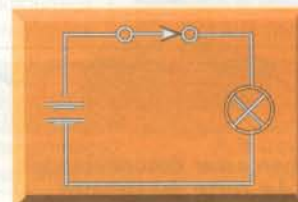


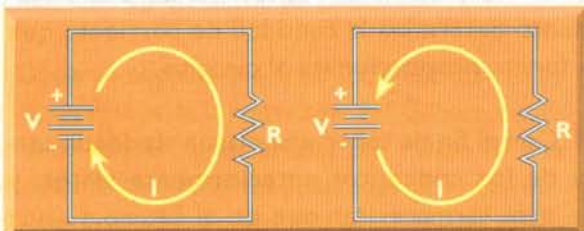
Figura 2.15. Circuito cerrado

Intensidad de la corriente

Es la cantidad de electrones que pasan o circulan por un conductor en una determinada unidad de tiempo. Se representa con una flecha, se nombra con la letra i ó I y se mide en amperios (A). Para medirla debemos ubicarnos en un punto del conductor y establecer la cantidad de electrones que pasan por éste en un segundo.

Como el número de electrones (carga eléctrica) se mide en culombios, un amperio representa el paso de un culombio en un segundo a través de un circuito; es decir, el movimiento de $6,28 \times 10^{18}$ electrones en un segundo. Esta unidad de medida se ha llamado amperio en honor de André M. Ampère (1775 - 1836), científico francés que contribuyó en forma importante con sus investigaciones al conocimiento de los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Es importante notar que la corriente siempre partirá del polo negativo de la batería, circulará a través de todo el circuito externo y volverá a entrar a la fuente por el polo positivo. A esta corriente se le llama corriente electrónica, porque los electrones libres siempre se mueven del polo negativo al positivo. Antes de que naciera la "teoría electrónica" se creía que la corriente circulaba del polo positivo al negativo, lo cual realmente es erróneo pero se ha aceptado por convención y en muchos circuitos encontrará el llamado "sentido convencional de la corriente". En el desarrollo del curso manejaremos el **sentido convencional** para representar la corriente eléctrica. **Figura 2.16.**



a. Sentido convencional (de positivo a negativo)

b. Corriente electrónica (de negativo a positivo)

Figura 2.16. Dirección de la corriente

CONVERSIÓN DE	CORRER EL PUNTO DECIMAL EN 3 LUGARES
Amperios en miliamperios Miliamperios en amperios	A la derecha A la izquierda
CONVERSIÓN DE	CORRER EL PUNTO DECIMAL EN 6 LUGARES
Amperios en microamperios Microamperios en amperios	A la derecha A la izquierda

Tabla 2.4. Resumen de la conversión para las unidades de medida de la corriente

Conversión de unidades

La unidad fundamental de la corriente y la más empleada en electricidad es el **amperio (A)**. Sin embargo, en los circuitos electrónicos se manejan normalmente corrientes menores a un amperio en cuyo caso se emplea otra unidad llamada **miliamperio (mA)** la cual es equivalente a la milésima parte de un amperio, es decir un amperio dividido en 1.000 partes. Para corrientes mucho más pequeñas se emplea el **microamperio (μA)** que equivale a la millonésima parte de un amperio, es decir un amperio dividido en un millón de partes.

Para convertir unidades pequeñas de corriente a grandes y viceversa, se siguen los mismos pasos que para el voltaje y la resistencia. En la **Tabla 2.4** se recuerda, en forma sencilla, la forma de convertir una unidad de medida en otra.

Como se mide la corriente

La intensidad de la corriente a través de un circuito se mide con un instrumento llamado amperímetro. Para conectar éste, lo primero que debemos tener en cuenta es que el amperímetro **SIEMPRE** se conecta en serie con la línea que suministra corriente al circuito, tal como se muestra en la **figura 2.17**; de esta manera obligamos a la corriente a circular a través del amperímetro y nos aseguraremos de que la medida sea la correcta.

La teoría y el manejo del amperímetro se estudia detalladamente en la sección de Electrónica Práctica.

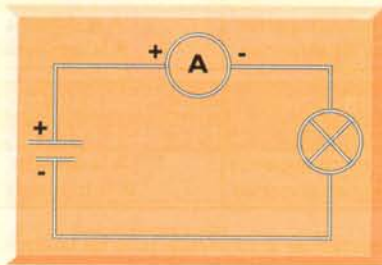


Figura 2.17. Medición de la corriente conectando el amperímetro en *serie* con la carga

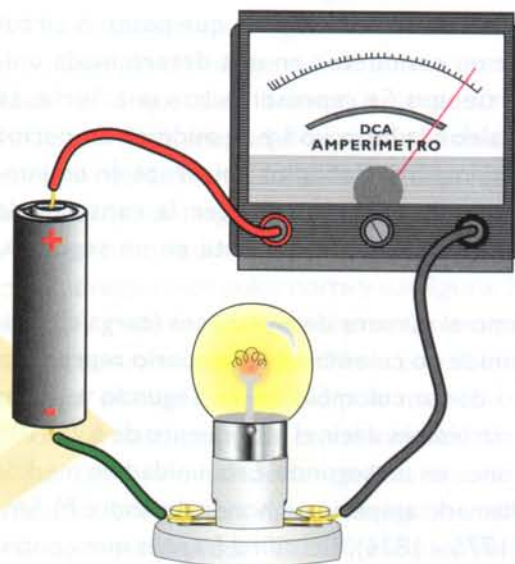


Figura 2.18. Circuito eléctrico simple. Es una trayectoria cerrada que recibe voltaje (V) y en la cual se produce una corriente (I) limitada por una resistencia (R). El circuito proporciona los medios para emplear la energía de la batería como fuente de voltaje.

La bombilla por sí misma tiene una resistencia, pero sin la corriente no es capaz de generar luz

La batería tiene una diferencia de potencial entre sus terminales que impulsa los electrones a través del circuito, produciendo la corriente



Los conductores llevan los electrones de la fuente de voltaje hacia la bombilla

Una vez conocidos cada uno de los elementos que conforman el circuito eléctrico, analicemos su funcionamiento mediante el siguiente ejemplo. **Figura 2.18**

El circuito, en este caso formado por los conductores, es el medio por el cual circula la corriente que lleva la energía de la fuente de voltaje al filamento de la bombilla, donde se emplea para hacer un trabajo útil, en este caso ge-

nerar luz y calor. La resistencia de dicho filamento determina la cantidad de corriente que la fuente proporcionará al circuito.

Con el fin de tener una mayor claridad acerca de los conceptos anteriormente vistos, y de esta forma evitar que en el futuro se nos dificulte comprender los nuevos elementos que se le irán agregando al circuito básico, haremos un sencillo experimento.

Experimento N° 2. Circuito eléctrico simple

Parte 1

El propósito de este experimento es ensamblar el circuito eléctrico más simple que existe: una batería de 9V alimentando una lámpara o bombilla.

Materiales necesarios:

- 1 Bombilla (lámpara) para linterna (9V)
- 1 Portalámpara para dicha bombilla
- 50 cm de alambre para conexiones
- 1 Interruptor unipolar
- 1 Batería de 9V



Figura 2.19. Materiales para el experimento



Figura 2.20. Circuito ensamblado

Monte el circuito cuyo diagrama se muestra en la figura 2.18. Éste debe quedar tal como se muestra en la figura 2.20

Cuestionario:

1. ¿Qué observa?
2. ¿Qué sucede si no quisiéramos utilizar la luz de la lámpara?
3. ¿Podríamos controlar el flujo de corriente?
4. ¿Cómo?

Conclusiones:

Al hacer todas las conexiones indicadas anteriormente, le hemos proporcionado un camino a la corriente. La bombilla emite luz cuando el filamento de tungsteno que se encuentra en su interior se calienta, lo que produce un brillo incandescente. El filamento por sí mismo no puede producir corriente, por lo que es necesario que exista una diferencia de potencial. Debido a que la batería tiene una diferencia de potencial de 9V entre sus terminales, al conectar ésta a los dos terminales de la bombilla mediante alambres, se produce una corriente que circula a través del filamento.

Parte 2

Con el fin de controlar el flujo de corriente en el circuito, vamos a agregarle un interruptor. Este componente controla la corriente permitiendo o interrumpiendo el paso de ésta ya que puede abrir o cerrar el circuito a medida que cambia de posición. Para ello debemos seguir los siguientes pasos:

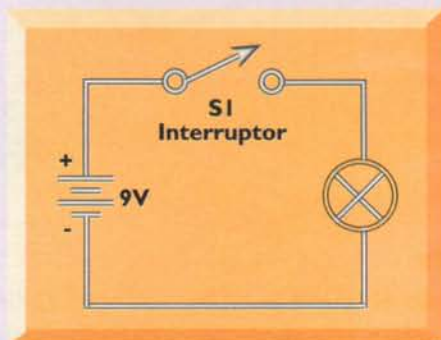


Figura 2.21. Circuito simple con interruptor

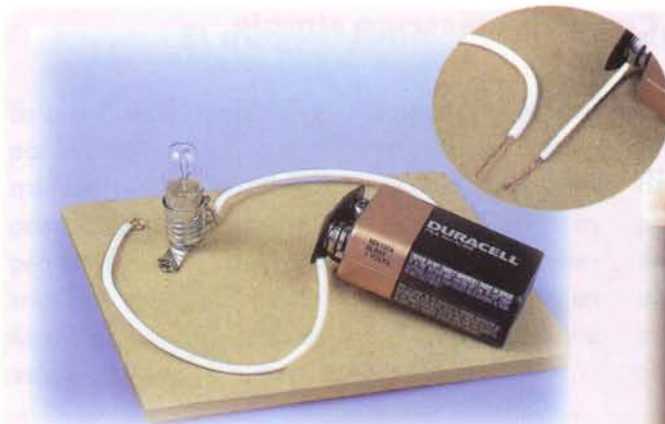


Figura 2.22

2. Conecte un extremo del cable libre a uno de los terminales del interruptor. **Figura 2.23**



Figura 2.23

3. Conecte el otro borne del interruptor al extremo sobrante del cable. **Figura 2.24**



Figura 2.24

4. Conecte nuevamente el cable suelto al portalámpara. **Figura 2.25**



Figura 2.25

Cuestionario:

1. Cierre y abra varias veces el interruptor. ¿Qué observa? **Figura 2.26**
2. De acuerdo con lo anterior, ¿cuáles son las condiciones necesarias para que haya circuito cerrado?

Conclusiones:

- Cuando se cierra el interruptor, el circuito proporciona un camino continuo para que pueda circular la corriente eléctrica; a esto se le llama **circuito cerrado**.

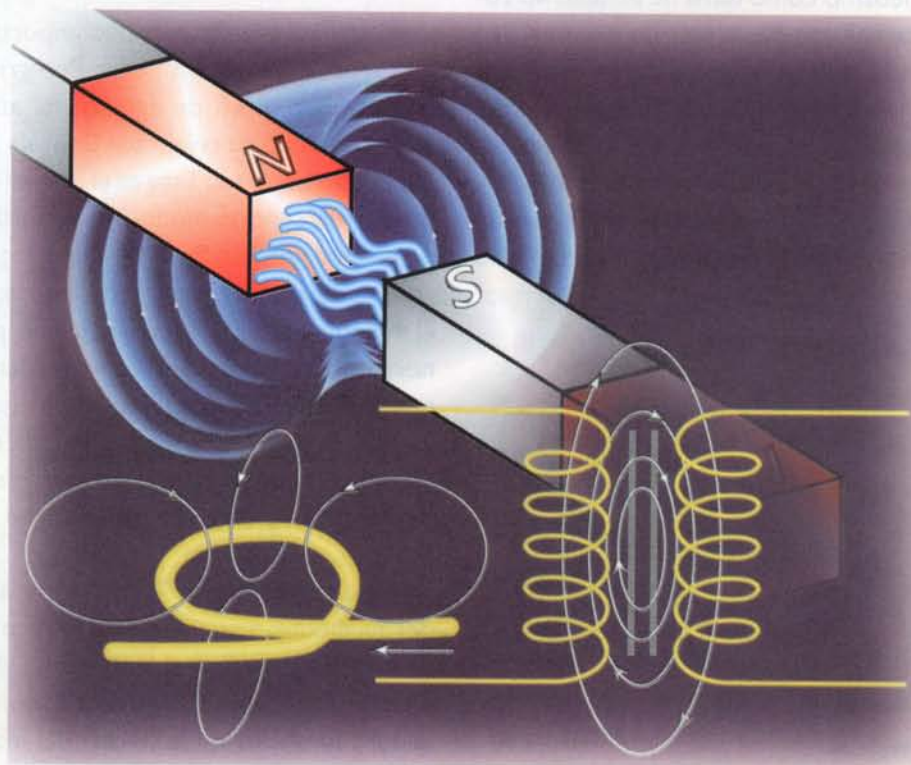
Figura 2.26

- Cuando el interruptor está abierto, el circuito se abre haciendo que la trayectoria eléctrica sea incompleta, por ello la corriente no puede pasar y circular por el circuito por lo que la lámpara no encenderá; a esto se le llama **circuito abierto**.

Lección 3

El magnetismo y el electromagnetismo

Ningún estudio de la electrónica sería completo si no se tratan los temas del magnetismo y el electromagnetismo. Muchos de los componentes, los aparatos y las tecnologías modernas, se basan para su funcionamiento en estos fenómenos de la naturaleza. Entre ellos están los transformadores, las bobinas, los parlantes, los motores, los instrumentos de medida, las cintas magnéticas, los discos duros de las computadoras, la comunicación por ondas de radio, los equipos médicos de resonancia magnética, las bandas magnéticas de las tarjetas de crédito, los trenes de levitación magnética, etc. En esta lección estudiaremos qué es el magnetismo y su relación con la electricidad, llamada electromagnetismo.



El magnetismo

Es una fuerza invisible que sólo puede detectarse por el efecto de atracción que produce entre dos o más cuerpos. Si el efecto es permanente, estos cuerpos reciben el nombre de **imanes** y si el efecto es producido por la circulación de una corriente eléctrica por un conductor, ya sea recto o enrollado en forma de bobina, se llama electromagnetismo y a este dispositivo se le llama **electroimán**.

Breve historia

El término **magnetismo** tiene su origen en el nombre que en la época de los filósofos griegos recibía una región del Asia Menor, entonces denominada Magnesia; en ella abundaba una piedra negra o piedra imán capaz de atraer objetos de hierro y de comunicarles por contacto un poder similar. Desde la más remota antigüedad se tenía conocimiento de que un mineral, la magnetita (óxido ferroso-férrico) **figura 3.1**, tenía la propiedad natural de atraer al hierro. A esta propiedad se le llamó magnetismo, e imanes a los cuerpos que la poseen. A pesar de que ya en el siglo VI a. C. se conocían un cierto número de fenómenos magnéticos, el magnetismo como tema de estudio no comienza a desarrollarse hasta más de veinte siglos después, cuando la experimentación se convierte en una herramienta esencial para el desarrollo del conocimiento.

También se observó en la antigüedad que un cuerpo magnético puede comunicar su propiedad



Figura 3.1. La magnetita

al hierro (imantar). En el caso del hierro, la imantación cesa cuando se vuelve a separar del imán que la causó. Gracias al conocimiento del imán natural (magnetita), pudo construirse la brújula. La leyenda dice que Hoang-ti, fundador del Imperio Chino, perseguía con sus tropas a un príncipe rebelde y se perdió en la niebla. Para orientarse, construyó una brújula en la cual la figura de una mujer supeestamente imantada, siempre apuntaba al sur y así atrapó a los rebeldes.

Se dice que los chinos utilizaban una especie de brújula en el siglo XII a.C., pero hasta el final del siglo XII d. C. no se tiene una clara referencia de un compás marítimo. Para ese entonces los europeos habían ya desarrollado una brújula, pues ya en 1200 d.C., Neckam of St. Albans muestra agujas pivotadas que marcan la ruta en su libro *De Uten-silibus*. Aproximadamente en la misma época, Guyot de Provins, un trovador de la corte de Barbarroja, se refiere en la llamada Bible Guyot al empleo de una piedra que se utiliza para tocar a una aguja. Ésta se montaba sobre una paja que flotaba y podía girar libremente. El uso de esta brújula de flotación era ya común en el siglo XIII d. C.

El primer tratado europeo importante sobre el magnetismo se debe a Pedro Peregrinos de Maricourt, quien el «8 de agosto del año del Señor 1269» escribió su celebrada Epístola a Sygerius de Foucaucort, soldado. Este es el primer informe científico, en el sentido moderno de la palabra, del que poseemos noticias. Peregrinos distingue claramente los polos de un imán permanente; observa que el Norte y el Sur se atraen y que polos iguales, norte por ejemplo, se repelen; además describe cómo, si se fragmenta un imán, se crean otros polos, y discute sobre la aguja pivotada. Asegura también que es de los polos magnéticos de la Tierra de donde los polos del imán reciben su virtud.

Lo que podríamos llamar la etapa precientífica del magnetismo termina y culmina con la aparición de la imponente figura de William Gilbert de Colchester (1544-1603), **figura 3.2**, quien fue el verdadero fundador de la ciencia del magnetismo. Su



Figura 3.2. William Gilbert (1544 - 1603). Estudiante del magnetismo

Magnete Magnetisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure Physiologia Nova, usualmente y por fortuna conocido como *De Magnete*, fue publicado en 1600 y puede considerarse como uno de los trabajos clave de la revolución científica que se llevaba a cabo por esas épocas.

Gilbert fue de los primeros “filósofos naturales” que hizo hincapié en el método experimental y que lo utilizó para ahondar en el conocimiento del magnetismo. En los seis libros de que consta *De Magnete*, Gilbert describe múltiples fenómenos, entre los cuales destaca como la atracción entre el hierro y la magnetita imantada puede ser aumentada “armando” la magnetita, esto es, poniendo casquetes de hierro en las juntas de la piedra. Esto hace que el peso que puede ser levantado aumente en un factor de cinco.

Observó además que la atracción se concentra en los extremos de la magnetita. Así, Gilbert detalla como se pueden hacer imanes por medio de tres métodos: tocando objetos imantados; por deformación plástica; y fabricando barras de hierro, calentándolas y dejándolas enfriar. De hecho, estos métodos fueron los que se usaron hasta 1820. Observó también que el calor destruye el magnetismo. En

su último libro presenta sus teorías y trata de encuadrar el magnetismo en el sistema de Copérnico. Uno de sus éxitos fue el de deducir las propiedades de atracción de polos opuestos y otro, el de que la Tierra se comporta como si tuviera un imán enterrado en ella. **Figura 3.3**

Cómo se produce el magnetismo

En el caso de los imanes naturales, o de los cuerpos imantados, la corriente que origina el magnetismo es el conjunto de todas las corrientes elementales que poseen los electrones girando alrededor de sus núcleos. En la mayoría de las sustancias, estos imanes elementales están desordenados, cada uno orientado en una dirección del espacio, por lo que su resultante es nula, y no presentan magnetismo. En ciertas sustancias, como la magnetita, estos pequeños dominios magnéticos pueden orientarse muy fácilmente, debido a influencias externas (puede ser el mismo magnetismo terrestre); cuando varios dominios elementales magnéticos se orientan en una misma dirección espacial, su resultante ya no es nula, y el cuerpo resulta imantado ejerciendo atracción hacia otros cuerpos.

Los cuerpos cuyos dominios magnéticos son fácilmente orientables o sea fáciles de magnetizar, se llaman PARAMAGNÉTICOS. Aquellos otros que por el contrario, resultan difícilmente o nada imantables, se llaman DIAMAGNÉTICOS. Existe un grupo de materiales como el hierro, el cobalto, el níquel y ciertos compuestos especiales que son ex-

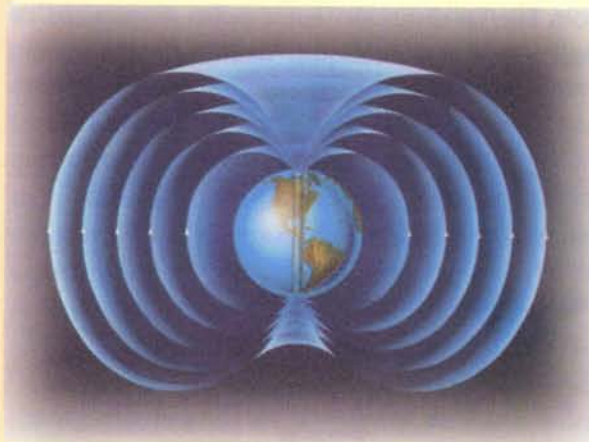


Figura 3.3. La tierra es un imán gigantesco

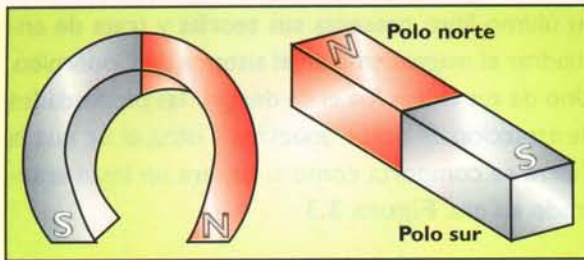


Figura 3.4. Los polos de un imán

tremadamente paramagnéticos. Dado que el hierro es el primero que se descubrió con tal comportamiento, estos materiales reciben el nombre de materiales FERROMAGNÉTICOS.

Naturaleza del magnetismo

El estudio del comportamiento de los imanes pone de manifiesto la existencia en cualquier imán de dos zonas extremas llamadas **polos** en donde la acción magnética es más intensa, **figura 3.4**. Para distinguir los dos polos de un imán recto se les llama **polo norte** y **polo sur**. Esta referencia geográfica está relacionada con el hecho de que la Tierra se comporta como un gran imán. **Figura 3.3**

El principio básico del magnetismo establece que: polos de distinto tipo (N-S y S-N) se atraen, **figura 3.5a** y polos del mismo tipo (N-N y S-S) se repelen, **Figura 3.5b**. Las experiencias con brújulas indican que los polos del imán terrestre se encuentran próximos a los polos sur y norte geográficos respectivamente. Por tal motivo, el polo de la brújula que se orienta aproximadamente hacia el Norte terrestre se denomina polo Norte y el opuesto constituye el polo Sur. Tal distinción entre polos magnéticos se puede extender a cualquier tipo de imanes.

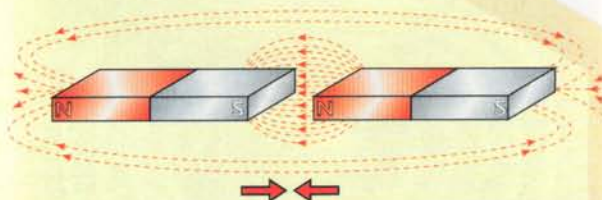


Figura 3.5a. Polos opuestos se atraen

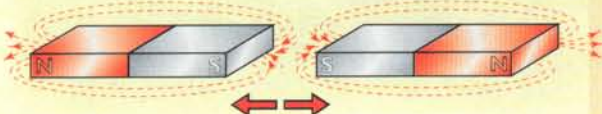


Figura 3.5b. Polos iguales se repelen

Esta característica del magnetismo de los imanes fue explicada por los antiguos como la consecuencia de una propiedad más general de la naturaleza consistente en lo que ellos llamaron la «atracción de los opuestos». Otra propiedad característica del comportamiento de los imanes consiste en la imposibilidad de aislar sus polos magnéticos. Así, si se corta un imán recto en dos mitades se reproducen otros dos imanes con sus respectivos polos norte y sur, **figura 3.6**, y lo mismo sucederá si se repite el procedimiento nuevamente con cada uno de ellos. No es posible entonces, obtener un imán con un solo polo magnético semejante a un cuerpo cargado con electricidad de un solo signo. Como ya lo mencionamos, dicha experiencia fue efectuada por primera vez por Peregrinos, sabio francés que vivió alrededor de 1270 y a quien se debe el perfeccionamiento de la brújula, así como un importante aporte al estudio de los imanes.

Características de las fuerzas magnéticas

A diferencia de lo que sucede con una barra de ámbar electrizada por frotamiento, la cual atrae hacia sí todo tipo de objetos con la condición de que sean livianos, un imán ordinario sólo ejerce fuerzas magnéticas sobre cierto tipo de materiales, en particular sobre el hierro. Éste fue uno de los obstáculos que impidieron una aproximación más temprana entre el estudio de la electricidad y el magnetismo. Las fuerzas magnéticas son fuerzas de acción a distancia, es decir, se producen sin que exista contacto físico entre los dos imanes. Esta circunstancia, que excitó la imaginación de los filósofos antiguos por su difícil explicación, contribuyó más adelante al desarrollo del concepto de campo de fuerzas o **campo magnético**.

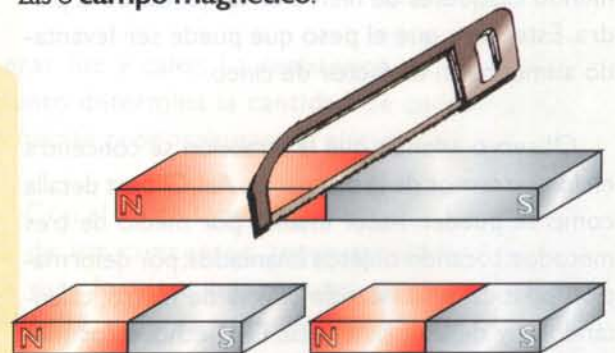


Figura 3.6. Si se corta un imán, quedan dos imanes con sus dos polos N y S

¿ Qué es un campo?

Es una extensión o espacio imaginario, en el cual se hace perceptible un determinado fenómeno, por ejemplo: campo gravitacional, campo magnético, etc.

¿ Qué es el campo magnético?

Como se vió anteriormente, la atracción y repulsión de polos se debe a una fuerza que actúa alrededor de ellos y es capaz de provocar acciones. Pero la fuerza no sólo actúa en los polos sino que rodea a todo el imán. A ese espacio donde actúa la *fuerza magnética* se le llama campo magnético. Como el magnetismo es una fuerza que no es visible y solo se puede detectar por los efectos que produce, se suele representar por medio de líneas entre los polos como se ilustra en la figura 3.5. Estas se denominan líneas de fuerza o líneas de campo, las cuales tienen fuerza y movimiento.

Líneas de fuerza

Michael Faraday, de origen inglés, visualizó en 1840 el campo magnético como una zona de influencia ocupada por infinidad de *líneas de fuerza*. Cada línea de fuerza es un lazo de energía magnética que tiene una duración definida: parte del polo norte, atraviesa el espacio encerrado por el campo magnético y regresa al polo sur, volviendo al polo norte. Estas líneas son siempre continuas y no tienen interrupción; por tanto forman un *circuito magnético* cerrado en el imán es decir, lo recorren por fuera y por dentro, (dentro del imán las líneas se moverán de sur a norte). Su intensidad es mayor en los extremos y disminuye en el centro. **Figura 3.7**

Una característica importante de las líneas magnéticas es que no se cruzan entre sí, van en forma curvada y paralela, es decir, de polo norte a polo sur. Resumiendo, las líneas de fuerza muestran la dirección en que se orientaría el polo norte de una brújula, en un punto determinado; todo el conjunto de líneas de fuerza recibe el nombre de *flujo magnético*. Un campo magnético fuerte tiene más líneas de fuerza que uno débil.

Permeabilidad magnética

Es la facilidad con que pueden pasar las líneas de fuerza magnética a través de una sustancia. Puesto que las

líneas de fuerza o flujo magnético pueden atravesar el aire, se toma como base para medirla, la permeabilidad de éste. El término **permeabilidad** es común cuando nos referimos a una prenda de vestir, a una tienda de campaña, a un paraguas, etc., para indicar si el agua se filtra con cierta facilidad o no; luego un paraguas es bueno cuando es impermeable. Del mismo modo los materiales *ferromagnéticos* son aquellos que tienen una elevada permeabilidad; por ello ciertas aleaciones de acero se utilizan en la fabricación de núcleos para bobinas, transformadores, electroimanes, máquinas eléctricas, etc.

Reluctancia magnética

Es el efecto contrario a la permeabilidad magnética, o sea la oposición o dificultad que ofrece una sustancia al paso de las líneas de fuerza. Dicho así, si un material deja pasar con mucha facilidad estas líneas se dice que tiene poca reluctancia o mucha permeabilidad. Es cierto que las líneas de flujo atraviesan cualquier material, pero no todos las dejan pasar con la misma facilidad; esto es similar a la corriente de electrones que circulan por un conductor; en realidad el conductor perfecto no existe, siempre existirá una pequeña resistencia que impedirá, aunque levemente, el paso de los electrones. Por ejemplo el *hierro dulce* tiene poca reluctancia y el aire tiene mayor reluctancia.

El circuito magnético

Como se vió anteriormente, las líneas de fuerza magnética no terminan en los polos del imán, sino que son continuas y cerradas, como la corriente

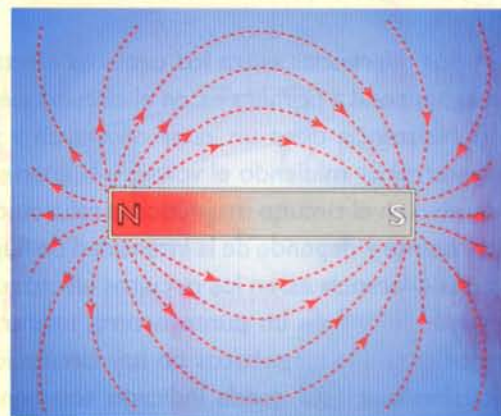


Figura 3.7. Líneas de fuerza

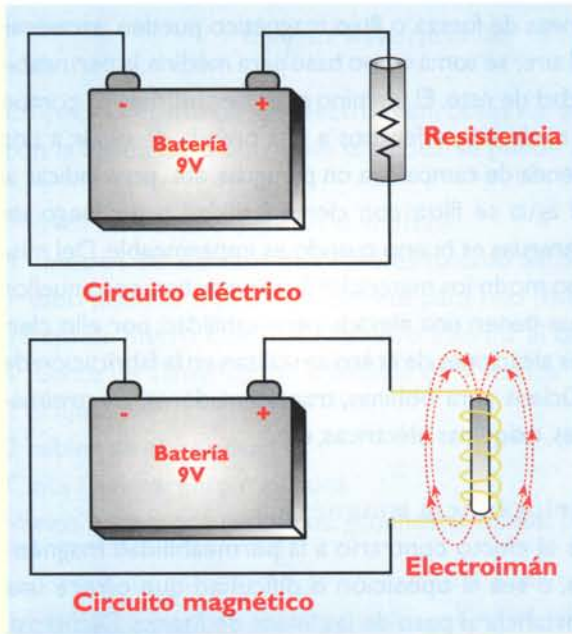


Figura 3.8. El circuito eléctrico y el circuito magnético

eléctrica a través de un conductor o un circuito eléctrico. Así, el circuito magnético es en muchos aspectos, similar al circuito eléctrico. **Figura 3.8**

Veamos las semejanzas entre ambos circuitos. Para producir una corriente eléctrica se requiere de una fuerza electromotriz. Así mismo, para producir un flujo magnético, se necesita una fuerza llamada *magnetomotriz*. En el circuito eléctrico, para una cantidad dada de fuerza electromotriz, la cantidad de corriente depende de la resistencia del circuito. Igualmente, en un circuito magnético, para una cantidad dada de fuerza magnetomotriz, la densidad de flujo depende de la oposición de la sustancia que atraviesa, o sea, de la reluctancia del material.

Hay dos diferencias entre los circuitos eléctricos y magnéticos. La primera es: en el circuito eléctrico la resistencia tiene un valor constante y se puede determinar midiendo el voltaje y la corriente. En cambio en el circuito magnético la reluctancia no es constante y depende de la intensidad de flujo. La segunda diferencia es: en los circuitos eléctricos, la corriente circula de un punto a otro, mientras que en los circuitos magnéticos no hay circulación de flujo, sino que éste queda indicado solamente por la intensidad y dirección de las líneas de fuerza.

Clasificación de los imanes

Los imanes se clasifican en:

1. Naturales: derivados de la magnetita, un mineral de hierro con propiedades magnéticas.

2. Artificiales: hechos por el hombre. Se pueden construir con aleaciones metálicas muy variadas siendo la de más uso el Alnico 5, una aleación de hierro, cobalto, níquel, aluminio y cobre. Son de gran utilidad en las industrias eléctrica y electrónica. Se usan en pequeños motores de corriente continua conocidos como motores de imán permanente, generadores de corriente continua, aparatos de medida, parlantes, bocinas, micrófonos dinámicos, altavoces, pastillas para tocadiscos, etc, **figura 3.9**. También se emplean en aplicaciones industriales.

3. Temporales: se imantan fácil e intensamente, pero pierden su fuerza magnética cuando se suprime la corriente magnetizante. El primer material usado para imanes temporales fue el hierro puro, el cual se calienta y luego se ablanda con un enfriamiento lento. Hoy en día el material más empleado es el hierro con silicio, una aleación que se usa en los núcleos de los transformadores, motores eléctricos, generadores eléctricos y otros equipos.

Procesos de imantación

Normalmente, en un trozo de hierro sus átomos son imanes muy pequeños agrupados sin ningún orden, con los polos norte y sur orientados en todos los sentidos. **Figura 3.10**. Esto hace que sus fuerzas magnéticas se neutralicen y por tanto el trozo de hierro carezca de magnetismo. Cuando este material se somete al frotamiento con un imán o a la



Figura 3.9. Imanes artificiales

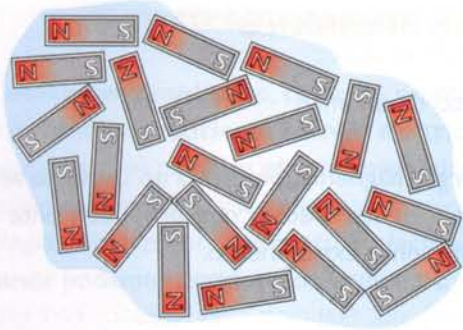


Figura 3.10. Trozos de hierro sin imantar

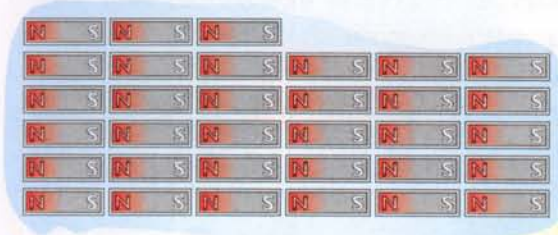


Figura 3.11. Trozos de hierro imantado

acción de una corriente eléctrica, es decir a un proceso de *imantación*, las moléculas de este material se acomodan de tal manera que los lados de los átomos del polo norte se ordenan en la misma dirección, e igualmente los del polo sur. Para hacerlo, se debe aplicar una fuerza magnética. Tal fuerza deberá actuar en contra del campo magnético de cada molécula, obligándolas de esta manera a orientarse ordenadamente, **figura 3.11**. Esto puede hacerse de dos maneras:

1. Por frotamiento o contacto directo con otro imán: cuando un imán se frota sobre la superficie de una pieza de hierro no magnetizado, el campo magnético del imán alinea las moléculas del hierro y lo magnetiza. **Figura 3.12**. La pieza de hierro se frota siempre en el mismo sentido (sin regresar) y con el mismo polo.

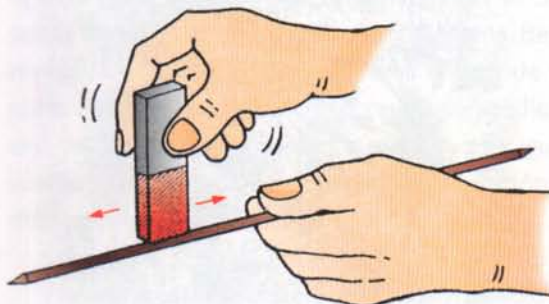


Figura 3.12. Imantación por frotamiento

2. Por acción de la corriente eléctrica: se envuelve un alambre de cobre aislado (bobina) sobre un trozo de hierro o acero. Los terminales del alambre se conectan a una fuente de corriente continua, por ejemplo una batería. **Figura 3.13**. La corriente eléctrica produce un campo magnético, el cual magnetiza al hierro. Este tema lo explicaremos más adelante.

La corriente eléctrica, al circular en un mismo sentido, ordenará todas las moléculas del material de modo que éste quedará magnetizado. Cuando se retira la bobina, gracias a la aleación del material, sus moléculas se quedan orientadas y así tenemos un imán artificial permanente. El proceso de imantación se puede ir perdiendo con el tiempo. En electrónica se emplean algunas herramientas magnetizadas en sus extremos para hacer algunos trabajos, por ejemplo: desatornilladores con la punta imantada, pinzas pequeñas, etc.

Como desmagnetizar un imán

Para desmagnetizar un imán, las moléculas deben modificarse magnéticamente de nuevo, de tal forma que sus campos magnéticos se opongan uno con otro y se anulen. Si el imán es fuertemente golpeado o calentado, las moléculas vibrarán lo suficiente como para volverse a dispersar desordenadamente. Si un imán se coloca rápidamente en un campo magnético inverso, las moléculas del material se desordenarán tratando de seguir al campo aplicado. Un *campo magnético inverso* rápido se puede obtener por medio de una corriente alterna que se aplica a los extremos del imán instantáneamente. En el siguiente experimento verificaremos como trabaja un imán y visualizaremos su campo magnético.

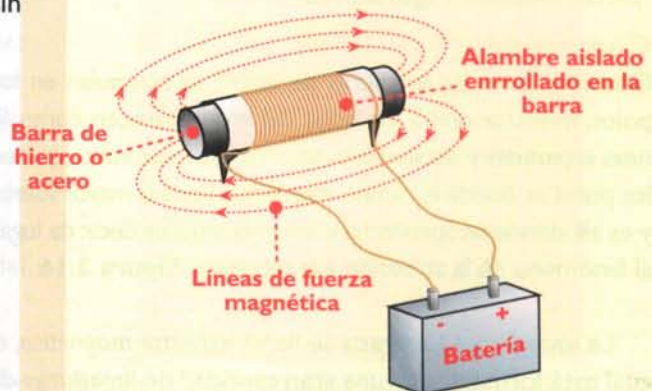


Figura 3.13. Imantación por acción de la corriente eléctrica

Experimento No. 3. Campo magnético

Objetivo: observar las líneas de fuerza del campo magnético de un imán

Los imanes están rodeados de una poderosa fuerza o energía magnética, pero esta no se puede ver, oler, gustar, oír, ni palpar. Podemos reconocer su presencia por los efectos que produce frente a ciertos materiales. Esto podemos apreciarlo mediante el siguiente experimento.

Materiales que se van a utilizar

- I imán
- I hoja de papel
- Un poco de limaduras de hierro

Pasos que se deben seguir:

Paso 1. Tome la hoja de papel, debajo coloque el imán y deje caer pausadamente algunas limaduras de hierro.

Figura 3.14

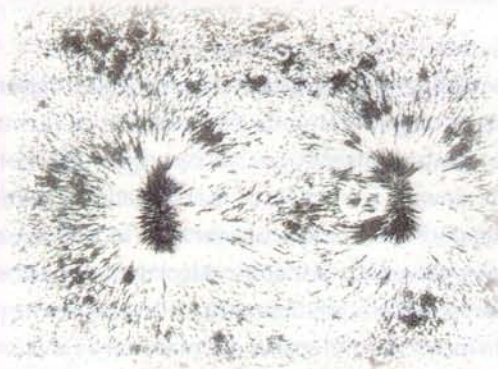


Figura 3.15

Cada limadura de hierro actúa como la aguja de una brújula, atrayendo a otras limaduras a sus extremos y así sucesivamente hasta conectar el polo norte con el polo sur. Estas cadenas de limaduras condujeron a la suposición de que la región que rodea al imán contiene *líneas de fuerza invisibles*. **Figura 3.15**

Conclusión

Observe como las limaduras de hierro se acumulan en los polos, mientras que a los lados del imán aparecen como líneas separadas y débiles; esta acumulación nos indica que en los polos es donde el campo magnético tiene la mayor fuerza y es allí donde se aprovecha el magnetismo, es decir, da lugar al fenómeno de la atracción y la repulsión. **Figura 3.16**

La imagen así generada se llama *espectro magnético*, el cual está formado por una gran cantidad de limaduras de hierro que unen los polos del imán.



Figura 3.14

Paso 2. Continúe regando las limaduras y podrá observar como éstas se acomodan a medida que se depositan sobre el papel y van formando unas líneas entre los dos polos del imán.

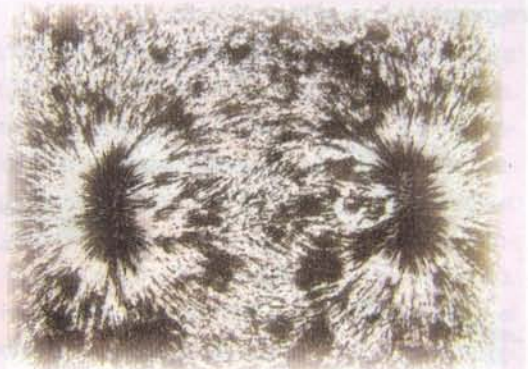


Figura 3.16

El electromagnetismo

El **electromagnetismo**, como su nombre lo indica, estudia las relaciones entre la electricidad y el magnetismo, es decir los efectos magnéticos de las corrientes eléctricas y los efectos eléctricos de los campos magnéticos. Entre estos efectos o fenómenos podemos destacar los siguientes:

1. Si se aplica una corriente eléctrica a un alambre, alrededor de éste se produce un campo magnético. En este fenómeno se basan, por ejemplo, los electroimanes, los relés, los solenoides y los timbres eléctricos. En la mayoría de los casos, el efecto magnético de la corriente se intensifica dándole al alambre la forma de una bobina.
2. Si se coloca un alambre en el interior de un campo magnético, en el alambre se produce una corriente eléctrica. En este fenómeno, llamado **inducción electromagnética**, se basan, por ejemplo, los transformadores y los generadores.
3. Si se coloca un alambre con corriente en el interior de un campo magnético, sobre el alambre se produce una fuerza que lo mueve en una u otra dirección. En este fenómeno, llamado **acción motor**, se basan, precisamente, los motores eléctricos, así como muchos instrumentos para la medición de corriente, voltaje, resistencia, potencia, etc.

Historia

En 1675 Robert Boyle, científico irlandés, publicó el primer libro sobre la electricidad y allí narra lo que ocurre cuando se frota un pedazo de ámbar con un trozo de seda: el ámbar atraerá materiales ligeros como trozos de papel, igual como se comporta un imán con las limaduras de hierro. Benjamin Franklin, en 1752, obtuvo una chispa de una nube cargada de electricidad por intermedio de una cometa; esto demostró que el rayo es igual a una chispa eléctrica. Pero, ¿cuál era la relación del magnetismo con la electricidad?

Hans Christian Oersted, científico y filósofo danés, en 1819 se sorprendió y sorprendió al mundo

cuando descubrió que el magnetismo y la electricidad tenían una relación muy cercana. Observó que en un conductor conectado a una batería, la corriente que circulaba afectaba la aguja magnética de una brújula que se colocaba cerca al conductor y la posicionaba en forma perpendicular a éste. Este experimento pone al descubierto que una corriente eléctrica produce un campo magnético. **Figura 3.17**

Si desconectamos la batería ya no circulará corriente por el conductor y por consiguiente la aguja de la brújula se orientará según el campo magnético de la tierra. La íntima relación existente entre el magnetismo y la electricidad, descubierta por Oersted, fue el principio de una nueva rama del conocimiento científico: el *electromagnetismo*. Esto condujo al descubrimiento de que puede crearse un imán si se envuelve un alambre aislado sobre una barra de hierro, y se hace circular una corriente eléctrica a través del alambre.

El primero que lo demostró fue el francés Dominique Francois Arago en 1820 y el primer electroimán, en forma de herradura, fue construido por el inglés William Sturgeon en 1824.

Con el descubrimiento del electromagnetismo, los científicos empezaron a buscar la manera de convertir en fuerza la relación entre el magnetismo y la electricidad. Si la electricidad podía producir magnetismo, ¿por qué no el magnetismo debía ser capaz de producir electricidad?

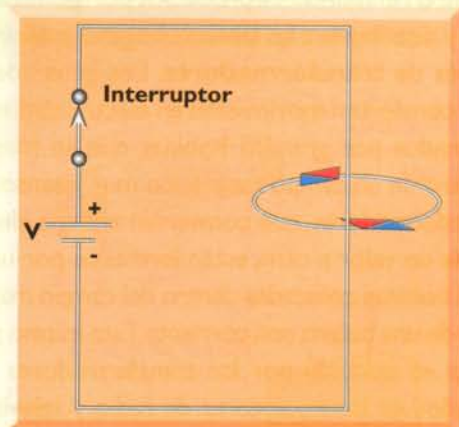


Figura 3.17. Campo magnético alrededor de un conductor, cuando circula corriente por él

Entre 1830 y 1860 los científicos trabajaron en la idea del motor eléctrico, uno de los inventos más importantes en el que se usa un electroimán. En 1831, Michael Faraday construyó el primer motor eléctrico y en esa misma época Joseph Henry también estaba trabajando en ese tema. Tomas Davenport un herrero de Nueva Inglaterra, E.U.A., patentó el primer motor eléctrico en 1837.

Como otra aplicación del electromagnetismo, en 1844, Samuel F.B. Morse envió por primera vez un mensaje por medio del telégrafo eléctrico. Con este produjo sonidos como golpes secos, largos y cortos comparables con puntos y rayas; esto lo logró con una barra móvil suspendida en un electroimán, la que estaba unida por conductores a un interruptor, este último, al cerrarse, enviaba una corriente eléctrica que magnetizaba el electroimán, el cual entonces atraía la barra, produciendo un sonido seco. El mayor o menor impulso eléctrico creaba, en el receptor puntos y rayas, según este código.

Importancia del magnetismo y el electromagnetismo

Los fenómenos magnéticos y electromagnéticos juegan un papel clave en la vida moderna puesto que constituyen el principio de funcionamiento de muchos dispositivos, equipos y sistemas eléctricos y electrónicos que forman parte de nuestra actividad diaria. Por ejemplo:

1. La mayor parte de la energía eléctrica que se consume en el mundo es producida por **generadores** y distribuida a las fábricas, hogares y oficinas a través de **transformadores**. Los generadores, que convierten movimiento en electricidad, están formados por grandes bobinas que se mueven dentro de un campo magnético muy intenso. Los transformadores, que convierten energía eléctrica de un valor a otro, están formados por una o más bobinas colocadas dentro del campo magnético de una bobina con corriente. Este mismo principio es utilizado por los transformadores empleados en los receptores de radio y televisión, los estabilizadores de voltaje y las fuentes de alimentación de todo tipo de equipos electrónicos.

2. La mayor parte de la fuerza que impulsa las máquinas en la industria es producida por **motores**, formados por bobinas con corriente sumergidas dentro del campo magnético creado por unos imanes u otras bobinas con corriente. En este mismo principio se basan los motores utilizados en los electrodomésticos, juguetes, computadoras, ascensores, herramientas, etc., así como los instrumentos de medida analógicos.

3. La radio, la televisión, la telefonía celular, los satélites, y otros tipos de sistemas de comunicaciones dependen de la interacción de fenómenos eléctricos y magnéticos para transmitir voces, imágenes y datos entre un par de puntos.

4. Muchos dispositivos utilizados para convertir en electricidad otras formas de energía y viceversa, están basados en fenómenos electromagnéticos. Por ejemplo, en un micrófono dinámico los cambios en la presión del aire producidos al hablar hacen que se mueva una bobina sumergida dentro de un campo magnético y se produzca una corriente que representa la voz.

5. Muchos dispositivos utilizados como interruptores automáticos en equipos eléctricos y electrónicos son esencialmente electroimanes. Por ejemplo, un relé está formado por una bobina unida mecánicamente a unos contactos. Cuando se aplica una corriente a la bobina, ésta produce a su alrededor un campo magnético, el cual atrae una pieza móvil que cierra automáticamente los contactos normalmente abiertos y abre los normalmente cerrados. En este mismo principio se basan los llamados contactores.

Los fenómenos magnéticos y electromagnéticos se utilizan también para efectuar diagnósticos médicos, localizar tesoros enterrados bajo el suelo, fundir metales, medir la velocidad del viento, almacenar información en discos y cintas, etc. Definitivamente, muchos de los grandes avances de la ciencia, la técnica y la ingeniería, que caracterizan nuestro mundo moderno, han sido posibles sólo gracias a la comprensión y el aprovechamiento inteligente de las características magnéticas y electromagnéticas de la materia.

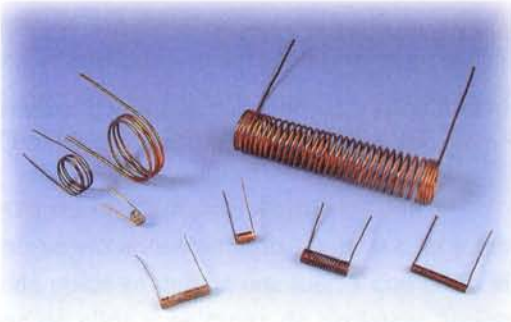


Figura 3.18. Bobinas

Las bobinas

Como hemos visto, el electromagnetismo está muy relacionado con un elemento llamado **bobina**. Una bobina es un enrollamiento de alambre de más de dos vueltas; generalmente están formadas por muchas vueltas de alambre; cada vuelta recibe el nombre de *espira*. **Figura 3.18**

Tipos de bobinas

1. Con núcleo de aire: ya sabemos que la corriente que circula por un alambre conductor tiene asociado un campo magnético. Si ese alambre se enrolla formamos una bobina llamada *solenoides*. Si la bobina se conecta a una fuente de CC, tanto la corriente como el campo magnético se concentran en un espacio muy reducido, pero da como resultado un gran campo magnético. El solenoide actúa como imán en forma de barra con los polos ubicados en los extremos. Como la espira está rodeada de su propio campo magnético, estos pequeños campos se combinan formando un campo muy grande que como se ve, rodea toda la bobina. Puede decirse que esta bobina tiene un núcleo de aire. **Figura 3.19**

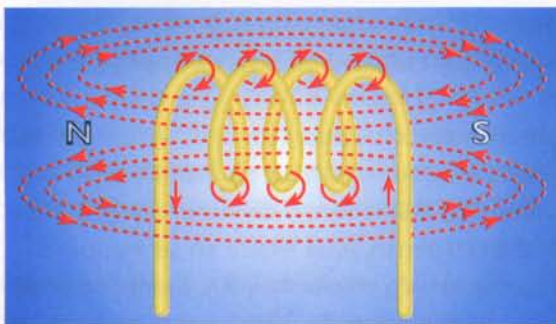


Figura 3.19. Bobina con núcleo de aire

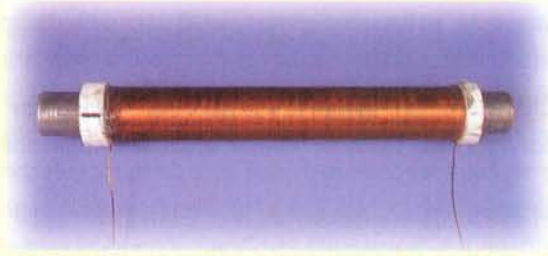


Figura 3.20. Bobina con núcleo de hierro

2. Con núcleo de hierro: si a la misma bobina le introducimos un trozo de hierro dulce y se conecta al mismo voltaje CC, obtenemos un *electroimán*, es decir un solenoide con núcleo magnético. Como el hierro tiene una reluctancia mucho menor, las líneas de fuerza van de un extremo a otro; éstas se concentrarán en el núcleo metálico creando un campo magnético muy intenso. **Figura 3.20**

Polos de un electroimán

Cuando hablábamos del campo magnético indicábamos que las líneas magnéticas se mueven en un sentido definido y es el sentido del flujo magnético quien define los polos norte y sur del campo. En un electroimán, al igual que en un imán permanente, las líneas de fuerza cierran el circuito magnético que es continuo, éstas salen por el polo norte y entran por el polo sur, dentro del imán hacen el recorrido de sur a norte.

Sin embargo, algo muy importante: en un imán permanente sus polos están en el mismo lugar de acuerdo a la magnetización obtenida en su fabricación; en un electroimán no pasa igual, pues el sentido de las líneas de fuerza de una bobina depende de la dirección de la corriente eléctrica, si ésta se invierte, las líneas de fuerza también. **Figura 3.21**

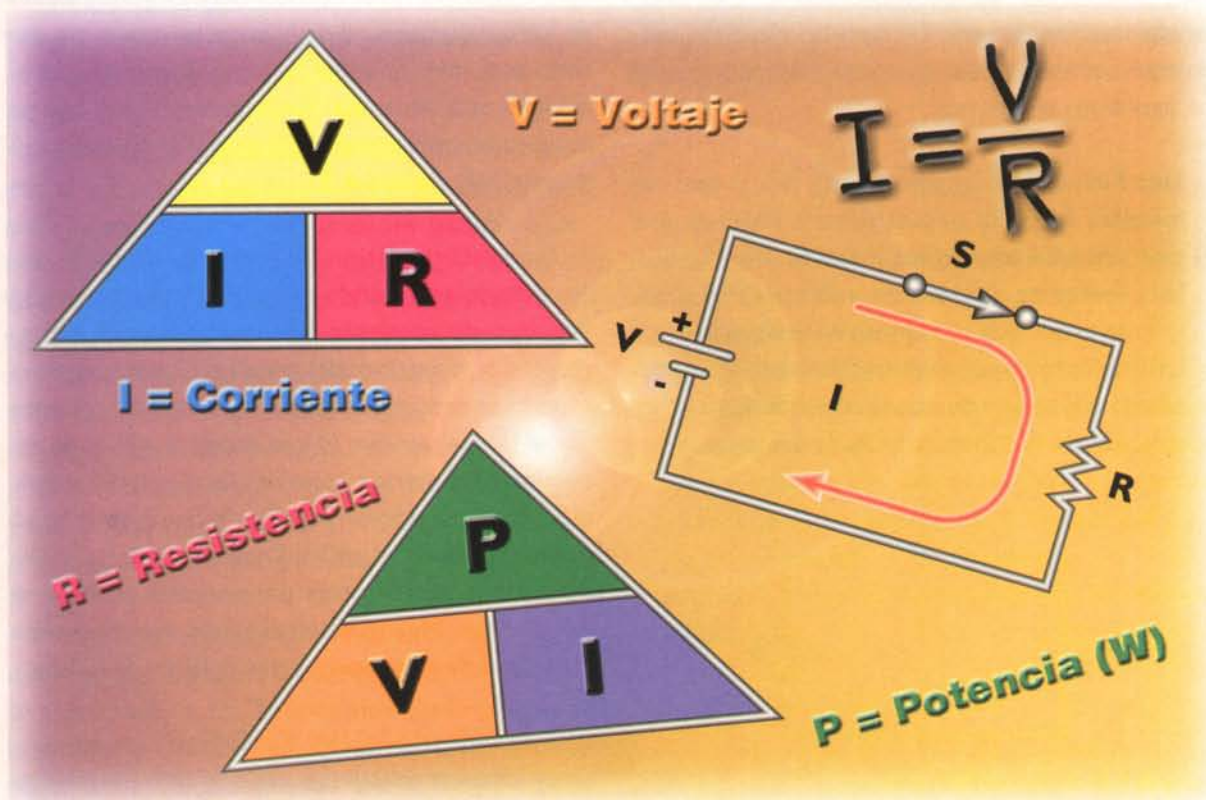


Figura 3.21. Polos de un electroimán

Lección 4

Leyes básicas de los circuitos eléctricos

Hasta ahora hemos estudiado los aspectos relacionados con los circuitos eléctricos, destacando los elementos que los componen (fuente, conductores, cargas) y las magnitudes físicas que los definen (voltaje, corriente, resistencia). En esta lección examinaremos la forma como están relacionadas matemáticamente estas magnitudes e introduciremos el importante concepto de potencia. Para ello será necesario conocer la ley de Ohm y la ley de Watt, dos principios básicos de la teoría eléctrica.



La ley de Ohm

La corriente y el voltaje, asociados con una resistencia, se relacionan entre sí mediante una fórmula muy útil y sencilla llamada la **ley de Ohm**. Esta ley, que examinaremos en detalle más adelante, es una de las fórmulas más utilizadas en electricidad y electrónica por parte de ingenieros, técnicos, estudiantes y principiantes, para el análisis y diseño de todo tipo de circuitos, incluyendo amplificadores, fuentes de alimentación, etc., así como para la selección apropiada de conductores, fusibles, interruptores, tomacorrientes, y otros tipos de componentes.

Antes de conocer la ley de Ohm, es conveniente recordar qué es, cómo está estructurado y cómo funciona un circuito eléctrico simple. **Figura 4.1.** Según vimos en una lección anterior, un **circuito eléctrico**, en un sentido general, es una combinación de componentes conectados de tal forma que proporcionen una trayectoria cerrada para la circulación de la corriente y permitan aprovechar la energía de los electrones en movimiento para producir otras formas de energía, por ejemplo, luz, calor, sonido, movimiento, etc. Un circuito eléctrico simple como el anterior se compone, básicamente, de los siguientes elementos:

- Una fuente de energía eléctrica (V), la cual suministra la fuerza necesaria para impulsar una corriente de electrones a través del circuito. Esta fuerza se expresa en **voltios (V)**. La corriente producida se expresa en **amperios (A)**.
- Un conjunto de conductores, los cuales proporcionan un camino de poca resistencia para la circulación de la corriente a través del circuito.

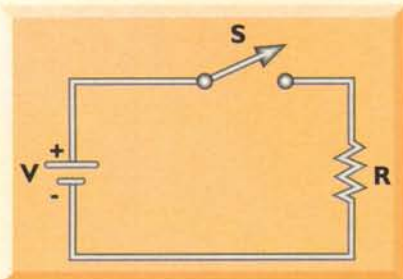


Figura 4.1. El circuito eléctrico simple

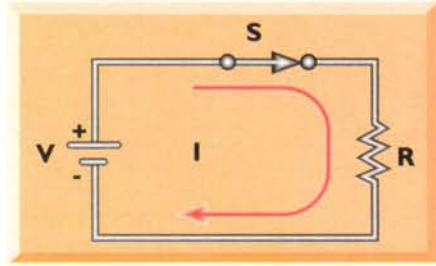


Figura 4.2. El circuito eléctrico cerrado

- Una **carga**, la cual convierte la energía de los electrones en movimiento en otras formas de energía. En este caso, la carga está representada por una **resistencia (R)**, la cual convierte energía eléctrica en calor. La resistencia se expresa en ohmios (Ω). En el resto de este capítulo asumiremos que la carga o cargas de un circuito son resistencias puras.
- Un interruptor (S), el cual actúa como elemento de control del circuito, regulando el paso de corriente hacia la carga.

Examinemos como funciona este circuito eléctrico simple. Supongamos inicialmente que el interruptor (S) está en la posición abierta (OFF). Bajo esta condición, no circula corriente alguna a través de los conductores ni de la carga porque la trayectoria está interrumpida. Se dice, entonces, que el circuito está **abierto**. Supongamos ahora que se acciona el interruptor y se pasa a la posición cerrada (ON), **figura 4.2.**

Bajo esta condición, los electrones tendrán una trayectoria por donde circular y la fuente podrá impulsar una corriente eléctrica (I). Se dice, entonces, que el circuito está **cerrado**. Considerando el sentido convencional, la corriente sale de la fuente por el borne positivo (+), se desplaza a lo largo del conductor superior, atraviesa la carga (R), continúa por el conductor superior y regresa a la fuente por el borne negativo. El proceso se repite indefinidamente mientras permanezca cerrado el interruptor. Hecho este recuento, estamos ya en capacidad de conocer y asimilar la ley de Ohm.

Enunciado de la ley de Ohm

En un circuito resistivo, o sea que solo tiene resis-

tencias, el voltaje (V), la resistencia (R) y la corriente (I) están relacionados entre sí mediante una fórmula muy útil y sencilla llamada la **ley de Ohm**, descubierta por el físico alemán Georg Simon Ohm (1789-1854) y dada a conocer públicamente en 1828. Esta ley establece lo siguiente:

“La intensidad (I) de la corriente eléctrica que circula por un circuito es directamente proporcional al voltaje aplicado (V) e inversamente proporcional a la resistencia (R) del mismo”

Matemáticamente, esta relación se puede representar en forma resumida mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Intensidad} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Resistencia}} \rightarrow I = \frac{V}{R}$$

El significado de cada uno de los términos de esta ecuación es el siguiente:

- V** es la tensión aplicada, expresada en voltios (V)
- I** es la corriente que circula por el circuito, expresada en amperios (A).
- R** es la resistencia u oposición al paso de la corriente, expresada en ohmios (Ω).

Para que la aplicación de esta fórmula produzca los resultados correctos, las cantidades deben expresarse en las unidades básicas o patrón, es decir el voltaje en **voltios**, la corriente en **amperios** y la resistencia en **ohmios**. Si estas magnitudes están expresadas en múltiplos o submúltiplos de las unidades básicas, las mismas deben convertirse primero a estas unidades antes de aplicar la ley de Ohm. Por ejemplo, 20mV (milivoltios) deben expresarse como 0,020 V, 10k Ω (kiloohmios) como 10.000 Ω y 30 μ A (microamperios) como 0,000030A.

Por tanto, la ley de Ohm nos permite calcular una magnitud, digamos la corriente (I), conociendo las otras dos (V, R). También nos confirma que la intensidad o cantidad de corriente de un circuito depende del voltaje aplicado por la fuente y de la

resistencia que le presenta la carga. En otras palabras, si por un circuito pasa cierta cantidad de corriente, esto se debe a la existencia de un voltaje aplicado y de una resistencia presentada por la carga. Esta última limita la cantidad de corriente que circula por el circuito. **Si la resistencia es alta, la corriente será baja, mientras que si la resistencia es baja, la corriente será alta.** Los siguientes ejemplos de aplicación de la ley de Ohm aclararán estos conceptos.

Ejemplo No. 1. En el circuito eléctrico de la **figura 4.3**, el voltaje entregado por la fuente tiene un valor de 110 voltios y la resistencia ofrecida por la carga un valor de 10 ohmios. ¿Cuál es el valor de la corriente que circula por el circuito?

Solución. Las magnitudes de este circuito son:

$$\begin{aligned} V &= 110V \\ R &= 10\Omega \\ I &= ?A \end{aligned}$$

Para calcular la corriente (I), aplicamos la ley de Ohm ($I=V/R$), reemplazando las letras que representan los parámetros del circuito por sus valores numéricos, expresados en unidades básicas. Esto es:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110V}{10\Omega} = 11A$$

Por tanto, la corriente a través del circuito es de 11 amperios.

Ejemplo No. 2. Consideremos el mismo circuito de la **figura 4.3**, pero ahora aumentemos el voltaje, por ejemplo al doble, es decir 220 voltios, dejando el mismo valor de resistencia, es decir 10 ohmios. ¿Qué sucederá con la intensidad? **Figura 4.4**

Solución. Las nuevas magnitudes del circuito son las siguientes:

$$\begin{aligned} V &= 220V \\ R &= 10\Omega \\ I &= ?A \end{aligned}$$

$$\text{Voltaje} = \text{Intensidad} \times \text{Resistencia}$$

$$\rightarrow V = I \times R$$

Mediante esta fórmula se puede obtener el valor del voltaje (V) de la fuente de alimentación, conociendo la intensidad (I) de la corriente y la resistencia (R).

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Intensidad}} \rightarrow R = \frac{V}{I}$$

Mediante esta fórmula se puede obtener el valor de la resistencia (R), conociendo la intensidad de la corriente (I) y el voltaje (V).

Los siguientes ejemplos aclararán estos conceptos.

Ejemplo No. 4. En el circuito de la **figura 4.6** se tiene como carga una resistencia de 6 ohmios y se ha medido una corriente de 2 amperios. ¿Cuál será el voltaje de la fuente de alimentación?

Solución. En este caso tenemos los siguientes valores:

$$I = 2 \text{ A}$$

$$R = 6 \Omega$$

$$V = ? \text{ V}$$

Aplicando la ley de Ohm en la forma $V = I \times R$ y reemplazando las letras por sus valores, tenemos:

$$V = 2 \text{ A} \times 6 \Omega = 12 \text{ V}$$

Por tanto, la fuente debe tener un voltaje de 12 voltios.

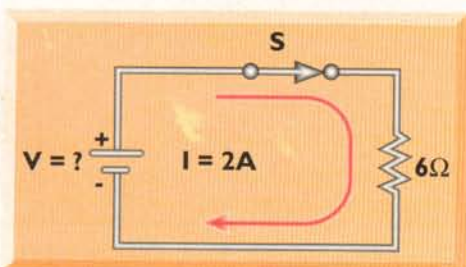


Figura 4.6. Ejemplo No.4

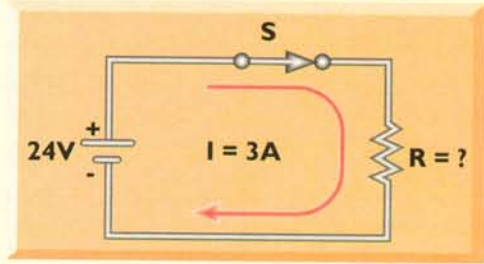


Figura 4.7. Ejemplo No. 5

Ejemplo No. 5. En el circuito de la **figura 4.7** se tiene una fuente de alimentación de 24 voltios y se mide una corriente de 3 amperios. ¿Cuál será el valor de la resistencia en ohmios?

Solución. En este caso tenemos los siguientes valores:

$$V = 24 \text{ V}$$

$$I = 3 \text{ A}$$

$$R = ? \Omega$$

Utilizando la ley de Ohm en la forma $R = V/I$, obtenemos:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 8 \Omega$$

Por tanto, el valor de la resistencia es de 8 ohmios.

El triángulo de la ley de Ohm

Las diferentes formas de expresar la ley de Ohm, examinadas hasta el momento, se pueden recordar con facilidad utilizando el triángulo de la **figura 4.8**, donde se encuentran representadas, en forma gráfica, las tres magnitudes de cualquier circuito, es decir el voltaje (V), la intensidad de la corriente (I) y la resistencia (R). Para la utilización

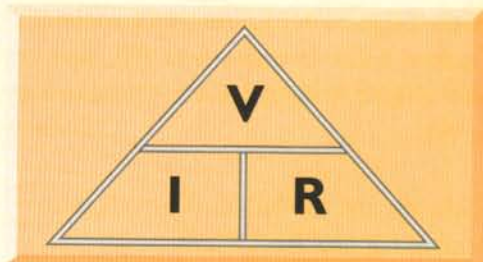


Figura 4.8. El triángulo de la ley de Ohm

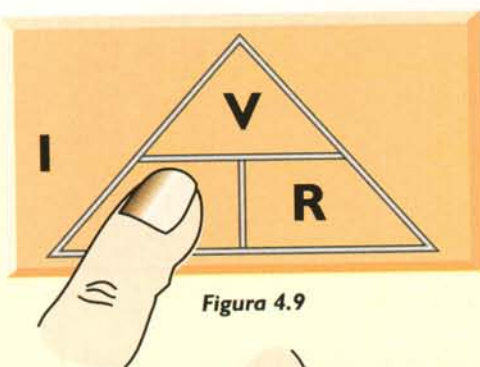


Figura 4.9

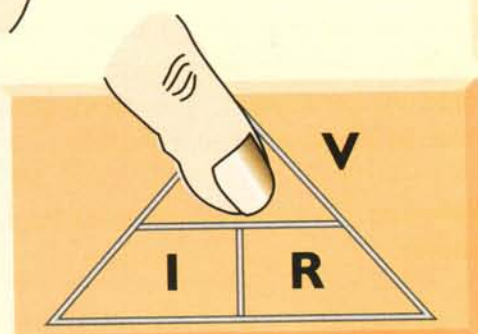


Figura 4.10

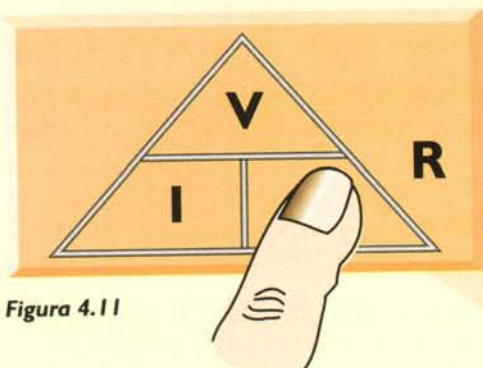


Figura 4.11

de esta ayuda, simplemente tape con un dedo en el triángulo la magnitud de interés y efectúe la multiplicación o división que quede indicada. Esto es:

1. Si quiere hallar la intensidad (**I**), tape con un dedo la letra **I**, **figura 4.9**. Obtendrá entonces **V/R**.
2. Si quiere hallar el voltaje (**V**), tape con un dedo la letra **V**, **figura 4.10**. Obtendrá entonces **I x R**.
3. Si quiere hallar la resistencia (**R**), tape con un dedo la letra **R**, **figura 4.11**. Obtendrá entonces **V/I**.

Análisis de un circuito eléctrico mediante la ley de Ohm

La ley de Ohm es siempre válida en todo circuito

eléctrico y en cada parte del mismo. Esto significa que si en una parte de un circuito eléctrico se conocen los valores particulares de dos de las tres magnitudes fundamentales (**I, V, R**), la tercera magnitud debe tener un valor tal que satisfaga la ecuación matemática descrita por la ley de Ohm. Para comprobar esta afirmación, consideremos el circuito eléctrico de la **figura 4.12**.

En este caso, si el interruptor **S** se encuentra cerrado, como se muestra en la figura, el amperímetro nos indicará la magnitud de la corriente (**I**) que circula a través del circuito. Esta corriente está dada por:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9V}{3\Omega} = 3A$$

Verifiquemos ahora la ley de Ohm en otra parte del circuito, por ejemplo en la resistencia. En este caso, el voltímetro nos indicará el voltaje o diferencia de potencial en los extremos de la resistencia. Este voltaje (**V1**) está dado por:

$$V1 = I \times R = 3A \times 3\Omega = 9V$$

Es decir, toda la tensión de la fuente aparece en la resistencia, como **V** era de esperarse. Incluso si el interruptor de la **figura 4.12**, se abre, la ley de Ohm sigue teniendo validez porque al ser infinita la resistencia del interruptor, deja de circular la corriente en el circuito. Bajo esta condición, la corriente medida por el amperímetro (**I**) será cero (**0**), lo mismo

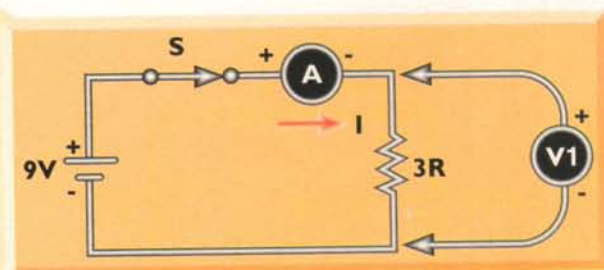


Figura 4.12. Circuito eléctrico simple para la demostración de la ley de Ohm

el voltaje en la resistencia medido con el voltímetro (V1). Este voltaje estará dado por:

$$V1 = I \times R = 0A \times 3\Omega = 0V$$

A continuación examinaremos otros problemas que nos permitirán apreciar la utilidad y versatilidad de la ley de Ohm.

Problemas de aplicación de la ley de Ohm

Problema No. 1. Un equipo eléctrico que tiene una resistencia interna de 8 ohmios se debe conectar a una fuente de 110 voltios. Calcular:

- La corriente que circula por el equipo.
- El calibre mínimo del conductor o cordón eléctrico que se debe utilizar para que el equipo funcione en forma segura.

Solución. El problema nos ofrece los siguientes datos:

$$\begin{aligned} V &= 110V \\ R &= 8\Omega \\ I &= ?A \end{aligned}$$

Aplicando la ley de Ohm obtenemos los siguientes resultados:

a.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110V}{8\Omega} = 13,75A$$

Esto es, la corriente que circula por el equipo es de 13,75 amperios.

- Con el valor de corriente obtenido anteriormente, nos apoyamos con la tabla de conductores eléctricos de la página N°17 de la sección de componentes para determinar el calibre mínimo del cable de potencia. Para ello, localicemos en la columna de ampacidad cual es el valor más cercano a 13,75 amperios. Notaremos que este valor es 15

amperios, el cual corresponde, en la columna de calibres, a un conductor número 14. Por tanto, podemos concluir que el cordón de alimentación para el equipo debe ser, como mínimo, de calibre N° 14.

Problema No. 2. Una resistencia de 300 ohmios perteneciente a un receptor de radio es atravesada por una corriente de 40 miliamperios. ¿Qué voltaje existe en los extremos de la resistencia?

Solución. El problema nos ofrece los siguientes datos:

$$\begin{aligned} I &= 40\text{ mA} \\ R &= 300\Omega \\ V &= ?V \end{aligned}$$

Antes de aplicar la ley de Ohm, es necesario tener las magnitudes en unidades en forma homogénea, es decir expresadas en unidades patrón. Note que la resistencia sí lo está (en ohmios), pero no la corriente, la cual está expresada en un submúltiplo (miliamperios o milésimas de amperio).

Por tanto, debemos convertir los 40 miliamperios en amperios. Para convertir miliamperios en amperios dividimos por 1000 así:

$$\frac{40\text{mA}}{1000} = 0,040A$$

Ahora sí, aplicando la ley de Ohm, obtenemos:

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ V &= 0,040A \times 300\Omega \\ V &= 12\text{ voltios} \end{aligned}$$

Para fijar de una manera práctica la relación que existe entre el voltaje aplicado a un circuito y la intensidad de corriente que circula por él, vamos a practicar a continuación un experimento sencillo.

Práctica No. 2. En esta práctica comprobaremos que, si en un circuito eléctrico se aumenta o disminuye el voltaje aplicado (V) y se mantiene constante la resistencia (R), la corriente producida (I) aumenta o disminuye en la misma proporción. Para ello, siga estos pasos:

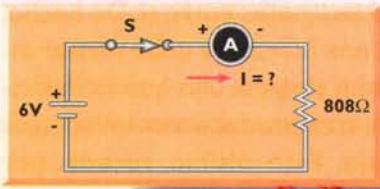
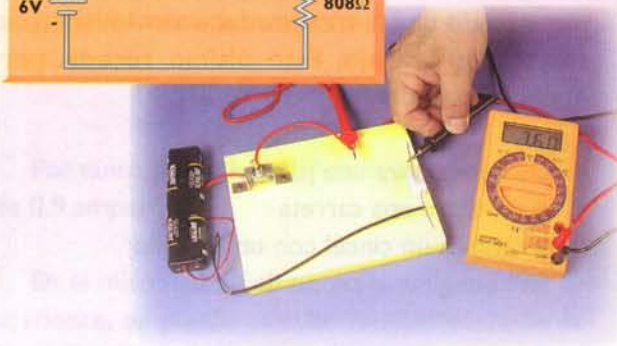


Figura 4.17



a. Efectúe nuevamente el montaje de la figura 4.13, pero cambiando el valor del voltaje de alimentación a 6 voltios (4 pilas de 1,5V conectadas en serie). Siga los mismos pasos de la Práctica 1 para medir la resistencia y el voltaje de la fuente. Calcule la corriente a través del circuito. En nuestro caso, obtuvimos $R=808\Omega$, $V=6,14V$ e $I = V / R = 6,14V / 808\Omega = 0,0075A=7,5mA$.

b. Cierre ahora el interruptor y tome la lectura del amperímetro. **Figura 4.17.** Anote el valor leído en el amperímetro ($I= 7,6mA$).

Práctica No. 3. En esta práctica comprobaremos que, si en un circuito eléctrico se aumenta o disminuye la resistencia de la carga (R) y se mantiene constante el voltaje aplicado (V), la corriente producida (I) disminuye o aumenta en la misma proporción. Para ello, siga estos pasos:

a. Efectúe nuevamente el montaje de la **figura 4.13**, pero utilizando dos resistencias en lugar de una. De este modo, la resistencia del circuito aumentará al doble. Siga los mismos procedimientos de la Práctica 1 para medir la resistencia y el voltaje de la fuente. Calcule la corriente a través del circuito. En nuestro caso, obtuvimos $R=1.616\Omega$, $V=3,12V$ e $I = V / R = 3,12V/1.616\Omega = 0,0019A = 1,9mA$.

b. Cierre ahora el interruptor y tome la lectura del amperímetro. **Figura 4.18.** Anote el valor leído en el amperímetro ($I=1,9mA$). ¿Coincide este valor con el calculado teóricamente?

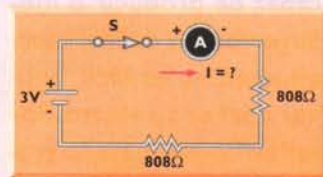


Figura 4.18



Conclusiones

En este experimento hemos comprobado, en forma práctica, que:

- La corriente en un circuito es igual a la relación entre el voltaje aplicado y la resistencia
- Si se aumenta o disminuye el voltaje aplicado a un circuito, manteniendo constante la resistencia, la corriente aumenta o disminuye en la misma proporción. En nuestro caso, aumentamos el voltaje al doble (de 3V a 6V). Por esta razón, la corriente también aumentó al doble (0,38mA a 0,76mA)
- Si se aumenta o disminuye la resistencia de un circuito, manteniendo constante el voltaje aplicado, la corriente disminuye o aumenta en la misma proporción. En nuestro caso, aumentamos la resistencia al doble (de 808Ω a 1.616Ω). Por esta razón, la corriente disminuyó a la mitad (de 3,8mA a 1,9mA)

Concepto de potencia eléctrica

Como ya sabemos, en todo circuito eléctrico simple, cuando se cierra un interruptor, hay un movimiento de electrones y un desplazamiento de carga debido a la *fuerza* que le transmite la fuente de voltaje; esto representa un trabajo. Por tanto, la corriente eléctrica produce un trabajo, consistente en trasladar una carga a través de un conductor.

El término *potencia* se asocia a cualquier dispositivo capaz de hacer un trabajo útil. Por ejemplo, un motor eléctrico es potente cuando es capaz de mover una máquina. La idea de potencia eléctrica surge del hecho que la electricidad es una forma de energía que puede ser convertida en un trabajo útil, como encender una lámpara, calentar una resistencia de una estufa eléctrica, mover la hélice de un ventilador, etc. Antes de hablar de potencia eléctrica, es conveniente analizar primero el significado de los siguientes cuatro conceptos fundamentales de la física clásica: fuerza, trabajo, energía y potencia.

Concepto de fuerza

Fuerza es toda causa capaz de producir o modificar un movimiento. Sin embargo, definir exactamente lo que es una fuerza no es fácil, aunque sí podemos observar cual es su efecto. Por ejemplo: podemos mover un objeto pesado gracias a la fuerza de *empuje* que ejerce sobre el mismo nuestro sistema muscular; un automóvil se pone en movimiento debido al impulso que recibe del motor, pues de lo contrario se quedaría en reposo. De lo anterior se desprende otra definición de fuerza: es todo aquello que produce una variación de la velocidad de un cuerpo. La unidad de medida de la fuerza es el newton (N)

Concepto de trabajo

Cuando una fuerza mueve un cuerpo, se desarrolla un **trabajo**, equivalente al producto de la fuerza por la distancia a lo largo de la cual actúa la misma.

La unidad de medida del trabajo es el julio (J), equivalente a 1 Nm (newton por metro).

Los conceptos de fuerza y trabajo, son muy distintos, pero están ligados entre sí. De hecho, cuando se ejerce una fuerza, se debe pensar inmediatamente en un trabajo, o lo que es lo mismo: cuando una fuerza produce movimiento, se efectúa un trabajo. Esto último sucede, por ejemplo, cuando:

- Un atleta lanza una jabalina
- Se arrastra una carreta
- Se golpea un cincel con un martillo
- Se hace girar el timón de un barco

En estos y en muchos casos más se consigue el movimiento de un cuerpo cuando aplicamos una fuerza. Esto implica que si un cuerpo permanece en reposo, sobre él no se está ejecutando trabajo alguno.

Concepto de energía

La energía es la capacidad para efectuar un trabajo. Por tanto, en cada trabajo que se produzca siempre hay una forma de energía involucrada. Algunas de las formas más comunes de energía son las siguientes:

Energía potencial

Es la energía que posee un cuerpo debido a su posición. Ejemplo: el agua que se encuentra almacenada en un tanque de reserva está en posición de reposo cuando las llaves están cerradas. Por tanto tiene una energía potencial asociada.

Energía cinética

Es la que posee un cuerpo cuando está en movimiento. Ejemplo: si se abren las llaves del tanque de reserva mencionado, entonces el agua corre por las tuberías. Por tanto, el flujo de agua lleva una energía cinética.

Energía calórica

Es la producida por la fricción o el roce de dos o

más cuerpos. Ejemplo: la acción de frotarse las manos genera necesariamente energía calórica.

Energía radiante

Es la energía asociada con las ondas que viajan por el aire y el vacío. Ejemplo: las ondas sonoras, las señales de radio, la luz del sol, etc., poseen una energía radiante.

Energía química

Es la energía producida por la reacción de dos o más sustancias para formar nuevas sustancias.

Energía eléctrica

Es la energía producida por el flujo o movimiento de electrones dentro de un material. La corriente eléctrica no se puede ver, pero sí se puede comprobar su existencia por medio de los efectos que produce al circular por un circuito o convertirse en otras formas de energía (calor, movimiento, sonido, luz, etc.)

Concepto de potencia

Si usted tuviera que escoger entre dos computadoras para llevar a cabo un trabajo complicado, ¿cuál elegiría? Lo más lógico es que usted escogería la de manejo más sencillo y, lo más importante, la más rápida. En esta última decisión juega un papel importante el factor *tiempo* y por tanto en la misma está implícito el concepto de **potencia**, definida como el trabajo realizado en la unidad de tiempo. En nuestro caso, el equipo de cómputo más potente es el que hace su trabajo en el menor tiempo.

En un principio establecimos que la corriente eléctrica produce un trabajo cuando traslada una carga por un conductor. Luego, este trabajo supone la existencia de una potencia que dependerá del tiempo que dure desplazándose la carga. La unidad de medida de la potencia es el **vatio (W)**, equivalente a 1 J/s (julio por segundo) y denominada así en honor de James Watt (1736-1819), inventor de la máquina de vapor. La potencia en un circuito eléctrico se determina con ayuda de la **ley de Watt**, la cual estudiaremos a continuación.

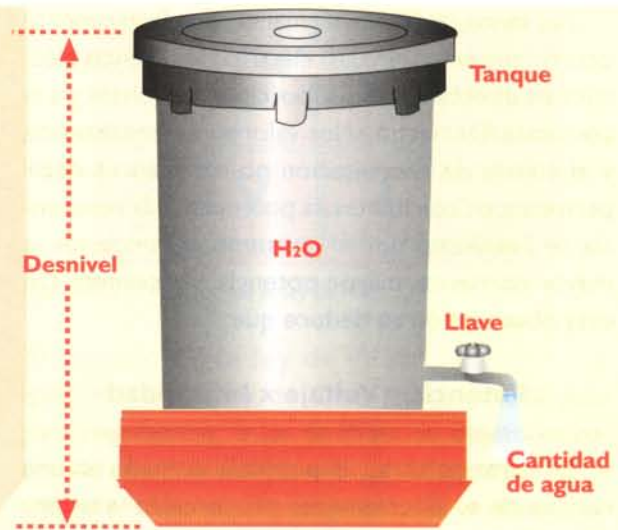


Figura 4.19. Tanque de reserva de agua

La ley de Watt

Examinemos nuevamente el caso del tanque de reserva. **Figura 4.19**. La potencia eléctrica se compara aquí con el tanque, el cual almacena agua y nos suministra una potencia hidráulica. En este caso, la potencia de la corriente de agua es directamente proporcional al desnivel del tanque, es decir su altura con respecto al suelo, así como a la cantidad de agua por unidad de tiempo que sale cuando se abre la llave.

Comparemos ahora el tanque de reserva de la figura 4.19 con un circuito eléctrico simple, **Figura 4.20**. Podemos establecer las siguientes analogías:

- El desnivel se asemeja al voltaje de la fuente (V).
- La cantidad de agua que sale por la llave en un segundo es semejante a la corriente (I).

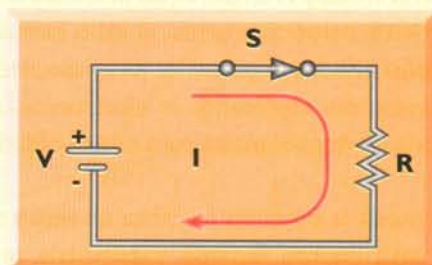


Figura 4.20. Circuito eléctrico

Por tanto, podemos afirmar, como efectivamente ocurre, que en un circuito eléctrico la potencia eléctrica es directamente proporcional al voltaje y a la corriente. De hecho, si los valores de la resistencia y el voltaje de alimentación no cambian, es decir permanecen constantes, la potencia en la resistencia se manifiesta por el consumo de amperios: a mayor corriente, mayor potencia, y viceversa. De esta observación se deduce que:

Potencia = Voltaje x Intensidad

En otras palabras, la potencia disipada en una resistencia es directamente proporcional a la tensión aplicada y a la cantidad de corriente que circula en el circuito. Este enunciado se puede expresar matemáticamente como una ecuación así:

$$P = V \times I$$

donde:

P es la potencia disipada, en vatios (W)

V es la tensión aplicada, en voltios (V)

I es la cantidad de corriente que circula, en amperios (A)

La fórmula $P=V \times I$ se conoce como la **ley de Watt**. Para que su empleo produzca los resultados correctos las cantidades se deben expresar en unidades patrón: vatios, voltios y amperios. Si, por algún motivo se toman cantidades múltiplos o submúltiplos, estas unidades se deben convertir en unidades básicas antes de usar la fórmula representada por la ley de Watt.

Como se mencionó anteriormente, la unidad de medida de la potencia es el **vatio** y para su representación se utiliza la letra **W** (mayúscula). Igual que sucede con el voltio y el amperio, las unidades de voltaje y corriente respectivamente, el vatio también tiene múltiplos, usados principalmente en electricidad, y submúltiplos, muy empleados en electrónica. La tabla 1 relaciona las equivalencias para estas unidades.

Para medir la potencia eléctrica en vatios se emplea un instrumento llamado **vatómetro**, utilizado principalmente en electricidad. En electrónica se uti-

Múltiplos y submúltiplos	Símbolo	Equivalencia
Megavatio	MW	1.000.000 W
Kilovatio	kW	1.000 W
Vatio	W	1 W
Milivatio	mW	0,001 W
Microvatio	µW	0,000001 W

Tabla 1. Equivalencia de unidades de potencia

liza con más frecuencia el **multímetro**. Para ello, se efectúan primero mediciones de voltaje y de corriente. A continuación, para hallar la potencia, basta con obtener el producto de estas dos magnitudes. Los siguientes ejemplos aclaran el uso de la ley de Watt.

Ejemplos de aplicaciones de la ley de Watt

Ejemplo No. 1. En el circuito de la **figura 4.21**, la fuente tiene un valor de 110 voltios y por la resistencia circulan 11 amperios. Calcular el valor de la potencia entregada por la fuente y absorbida por la resistencia.

Solución. En este caso tenemos:

$$V = 110 \text{ voltios}$$

$$I = 11 \text{ amperios}$$

$$P = ? \text{ vatios}$$

Aplicando la ley de Watt: $P = V \times I$

Reemplazando las letras por sus valores

$$P = 110V \times 11A$$

$$P = 1.210 \text{ vatios}$$

$$P = 1,21kW$$

Por tanto la potencia disipada en la resistencia es 1.210 vatios.

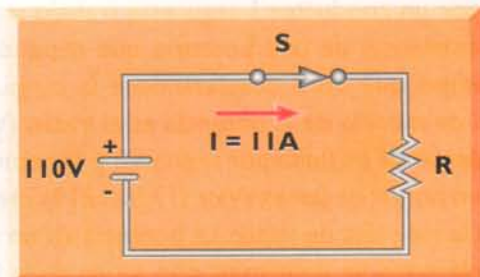


Figura 4.21. Ejemplo No. 1

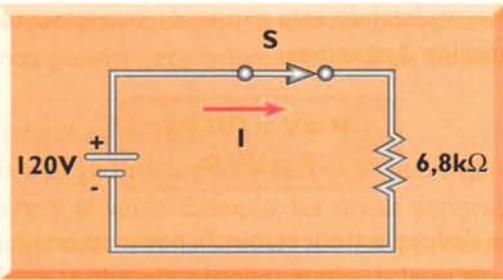


Figura 4.22. Ejemplo No. 2

Ejemplo No. 2. En el circuito de la figura 4.22, la fuente de alimentación suministra 120 voltios y la resistencia es de 6,8 kΩ. Calcular:

- La corriente que circula por el circuito
- La potencia disipada en la resistencia

Solución

- En este caso tenemos:

$$\begin{aligned} V &= 120 \text{ voltios} \\ R &= 6,8 \text{ kilohmios} \\ I &= ? \end{aligned}$$

Antes de aplicar cualquier fórmula, se deben convertir los 6,8 kΩ a ohmios (Ω). En este caso basta con multiplicar por mil:

$$6,8\text{k}\Omega \times 1.000 = 6.800\Omega$$

Ahora sí podemos aplicar la ley de Ohm para hallar I:

$$I = V/R = 120\text{V} / 6.800\Omega = 0,0014 \text{ amperios}$$

- Puesto que acabamos de hallar la corriente del circuito, podemos entonces aplicar la ley de Watt para calcular la potencia. Tenemos:

$$\begin{aligned} V &= 120 \text{ voltios} \\ I &= 0,0014 \text{ amperios} \\ P &= ? \text{ vatios} \\ P &= V \times I \\ P &= 120 \times 0,0014 \text{ A} \\ P &= 0,168 \text{ W} \end{aligned}$$

Es decir la potencia disipada en la resistencia es de 0,168 vatios

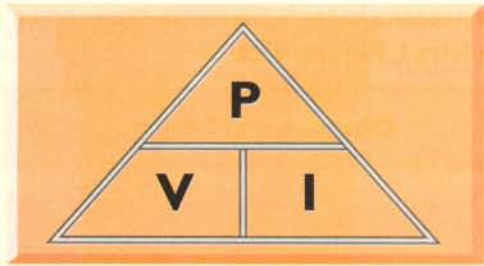


Figura 4.23. Triángulo de la ley de Watt

Triángulo de la ley de Watt

Igual que con la ley de Ohm existe un triángulo para representar la ley de Watt. Su objeto es recordar con facilidad las relaciones entre V, I y P y así poder encontrar la magnitud que se desee, conociendo dos de las tres magnitudes involucradas.

Figura 4.23. Para usar esta ayuda, se tapa con un dedo la magnitud que se quiere encontrar y se hace la división o multiplicación que quede indicada, así:

- Si necesita hallar la potencia, tape con un dedo la letra P. **Figura 4.24**

$$\text{Obtenemos: } P = V \times I$$

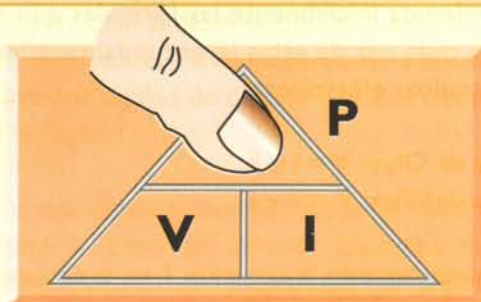


Figura 4.24

- Se necesita hallar el voltaje tape con un dedo la letra V. **Figura 4.25**

$$\text{Obtenemos: } V = \frac{P}{I}$$

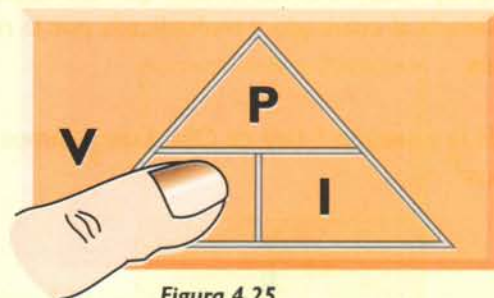


Figura 4.25

3. Si necesita hallar la corriente, tape con un dedo la letra I. **Figura 4.26**

Obtenemos: $I = \frac{P}{V}$

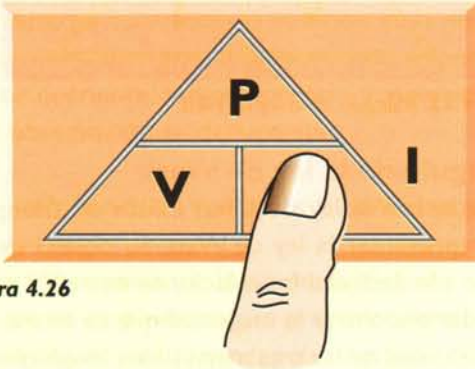


Figura 4.26

Combinación de las leyes de Ohm y Watt

Las leyes de Ohm y de Watt se pueden combinar matemáticamente para obtener otras relaciones útiles que nos permiten calcular la potencia, el voltaje, la corriente o la resistencia en un circuito, conociendo otras dos magnitudes. Recordemos inicialmente las fórmulas que describen cada una de estas leyes fundamentales de los circuitos eléctricos:

- 1. Ley de Ohm: $V = I \times R$
- 2. Ley de Watt: $P = V \times I$

Reemplazando la ecuación 1 en la ecuación 2 tenemos:

$$P = I \times R \times I$$
$$P = I^2 \times R$$

Es decir, la potencia en un circuito es directamente proporcional a la corriente que circula por éste, elevada al cuadrado y multiplicada por la resistencia.

Si de la ecuación 1 (ley de Ohm) despejamos I, tenemos:

$$I = \frac{V}{R}$$

Reemplazando esta expresión nuevamente en la ecuación 2 tenemos:

$$P = V \times (V / R)$$
$$P = V^2 / R$$

Se deduce, entonces, que la potencia en un circuito es igual al voltaje aplicado, elevado al cuadrado y dividido por la resistencia.

Resumen

Para hallar la potencia en vatios de un circuito disponemos de tres expresiones:

- 1. $P = V \times I$, si se conocen el voltaje (V) y la corriente (I).
- 2. $P = I^2 \times R$, si se conocen la corriente (I) y la resistencia (R)
- 3. $P = V^2 / R$, si se conocen el voltaje (V) y la resistencia (R)

De estas tres ecuaciones, se puede despejar V, I ó R, y así encontrar otras expresiones para hallar el voltaje, la corriente y la resistencia en función de la potencia. En los siguientes problemas veremos como aplicar estos conceptos.

Problemas de aplicación de la ley de Watt

Problema No. 1. Una bombilla de uso doméstico se compra en el mercado con las siguientes especificaciones: voltaje de alimentación = 110 voltios, potencia = 100 W. Calcular la corriente que circula por la bombilla, así como su resistencia interna. **Figura 4.27**

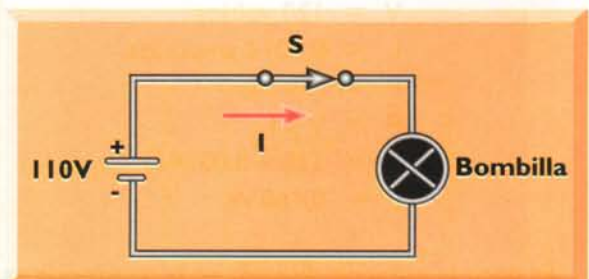


Figura 4.27. Problema No. 1

Solución: En este caso tenemos:

$$V = 110 \text{ voltios}$$

$$P = 100 \text{ vatios}$$

$$I = ? \text{ amperios}$$

Del triángulo de la ley de Watt: $I = P / V$. Reemplazando las letras por valores

$$I = 100 \text{ W} / 110 \text{ V} = 0,9 \text{ A}$$

Por tanto, por la bombilla circula una corriente de 0,9 amperios.

En el mismo problema, después de conocer la corriente, se puede calcular la resistencia de la bombilla aplicando la ley de Ohm así:

$$R = V / I$$

$$R = 110 \text{ V} / 0,9 \text{ A}$$

$$R = 122,2 \text{ ohmios}$$

Por tanto, la resistencia interna de la bombilla es $122,2\Omega$

Problema No. 2. Calcular la potencia que absorbe y transforma en calor una resistencia de 800Ω cuando se aplica una tensión de 12 voltios. **Figura 4.28**

Solución. Tenemos:

$$V = 12 \text{ voltios}$$

$$R = 800 \text{ ohmios}$$

$$P = ? \text{ vatios}$$

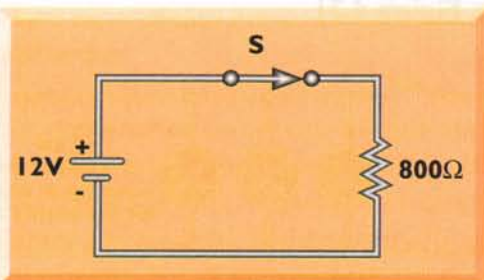


Figura 4.28. Problema No. 2

Según la ecuación No. 3 del resumen: $P = V^2 / R$. En este caso, conocemos los valores de V y R . Reemplazando los valores, tenemos:

$$P = \frac{(12 \text{ V})^2}{800 \Omega} = 0,18 \text{ W}$$

La resistencia absorbe una potencia eléctrica de 0,18 vatios, la cual se convierte en potencia calórica.

Problema No. 3. En el circuito de la figura 4.29, la resistencia tiene un valor de 2.200 ohmios y a través de ella circula una intensidad de 2 amperios. Calcular la potencia asociada con la resistencia.

Solución: La ecuación No. 2 del resumen nos permite calcular la potencia, conociendo la corriente (I) y la resistencia (R). Esto es: $P = I^2 \times R$. Reemplazando las letras por sus valores tenemos:

$$P = (2 \text{ A})^2 \times 2.200 \Omega$$

$$P = 8.800 \text{ W}$$

Es decir, la potencia de la resistencia es de 8.800 vatios.

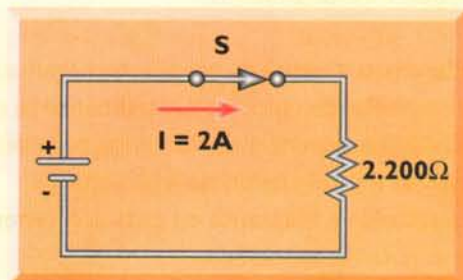


Figura 4.29. Problema No. 3

Como hemos visto, estas dos leyes son fundamentales para hacer los cálculos de las cuatro magnitudes más comúnmente empleadas en electricidad y electrónica, a saber: I, V, R y P . En la siguiente circunferencia hay un resumen de las fórmulas vistas hasta ahora. **Figura 4.30.**

La circunferencia se ha dividido en 4 cuadrantes. En cada uno de estos (en el centro de la circunferencia) tenemos el factor desconocido o lo

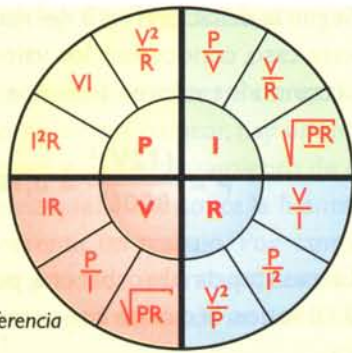


Figura 4.30. Circunferencia de ecuaciones

que queremos hallar. Además, cada cuadrante a su vez, se ha dividido en 3; donde hemos incluido las soluciones para cada factor a partir de las cantidades conocidas. Utilicemos la circunferencia con un ejemplo práctico.

Para las fiestas de Navidad usted desea hacer un arreglo para la casa con bombillas de colores; y para el caso, vienen varios interrogantes.

- a. ¿Qué tipo de bombillas se pueden emplear?
- b. ¿Qué corriente circula por cada una?
- c. ¿Qué resistencia tiene cada una?
- d. ¿Cuántas se pueden conectar?
- e. ¿Qué potencia consumen las bombillas instaladas?
- f. ¿Qué calibre de conductor se debe emplear para un buen funcionamiento?

Le ayudaremos a resolver estos interrogantes:

- a. Las bombillas de color comercialmente se compran de una potencia de 25 vatios para ser conectados a una tensión de 110 voltios.
- b. Para calcular la corriente en cada una, tenemos como valores conocidos:
 - $V = 110V$
 - $P = 25W$

Observemos la circunferencia, vamos al cuadrante de corriente (I) y busquemos la fórmula donde estén los valores conocidos y encontramos:

$$I = P / V$$

Reemplazando las letras por sus valores.

$$I = 25W / 110V = 0,227 \text{ amperios.}$$

Entonces, por cada bombilla circula una corriente de 0,227 amperios.

- c. Para calcular el valor de la resistencia de cada bombilla, tenemos como valores conocidos:
 - $V = 110V$
 - $P = 25W$
 - $I = 0,227 A$

En la circunferencia, observamos en el cuadrante de resistencia (R) y buscamos las fórmulas:

$$R = V / I \quad \text{y} \quad R = V^2 / P$$

Cualquiera de las fórmulas que empleemos debe dar el mismo valor:

$$R = V / I = 110V / 0,227 A = 484\Omega$$

$$R = V^2 / P = (110V)^2 / 25W = 12.100 / 25 = 484\Omega$$

- d. El número de bombillas que se van a conectar depende de factores como: espacio donde se quieren instalar, costo de las mismas, etc. Tomemos como ejemplo la instalación de 50 bombillas.
- e. La potencia total consumida por las 50 bombillas es: $25W$ (de cada una) $\times 50 = 1.250W$
- f. Calibre del conductor: tomando como base $1.250W$ debemos calcular la corriente total que circula por el circuito. Utilizando la circunferencia, conocemos:
 - $V = 110V$
 - $P = 1250W$
 Observamos el cuadrante de corriente (I) y la fórmula que incluye los valores conocidos es:
 - $I = P / V$ Reemplazando los valores.
 - $I = 1.250W / 110V = 11,36$ amperios

Ahora nos apoyamos en la tabla de conductores que usted ya conoce. En la página No. 17 de la sección de componentes , en la columna de ampacidad se busca el valor más cercano a 11,36 amperios, es 15 amperios, que corresponde al No.14 en la columna de calibre del conductor. Con el siguiente diagrama le ayudamos a terminar su instalación navideña. **Figura 4.31**

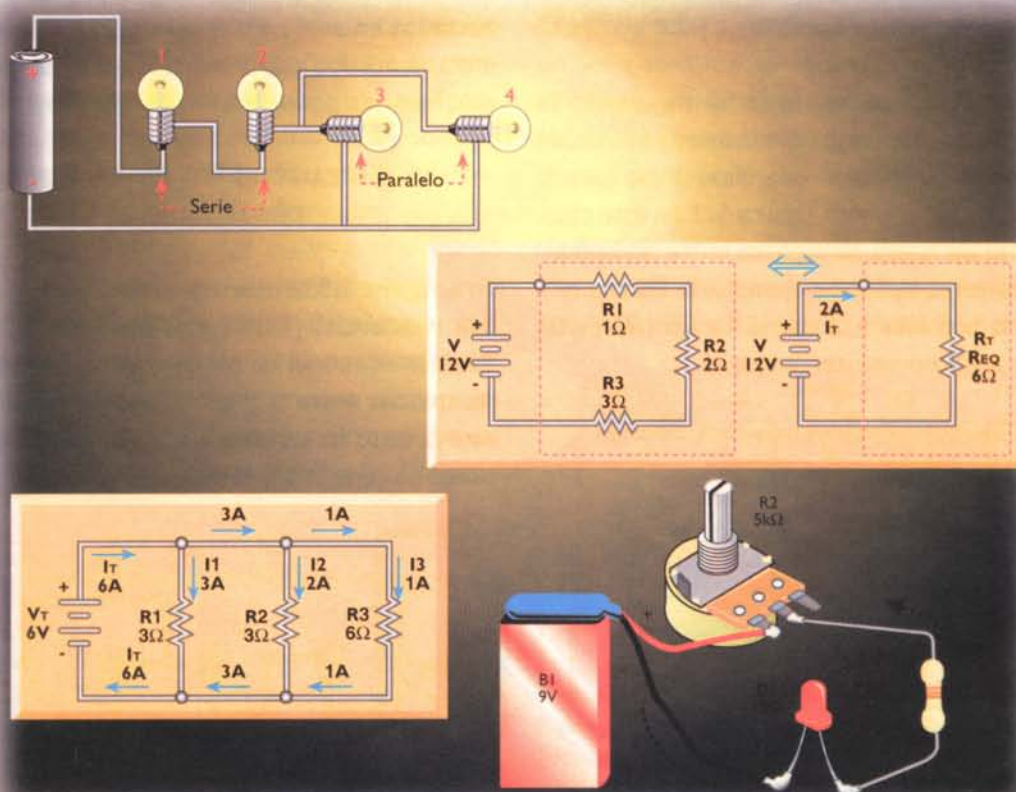


Figura 4.31. Circuito para instalación navideña

Lección 5

Circuitos en serie, paralelo y mixtos

En la mayoría de circuitos eléctricos y electrónicos prácticos, una misma fuente debe alimentar dos o más cargas, las cuales pueden estar conectadas en serie, en paralelo o en una configuración mixta. En esta lección estudiaremos las características generales de estos tipos de circuitos. Es importante que usted conozca y se familiarice con sus propiedades para entender como operan otros circuitos más complejos, como por ejemplo amplificadores, osciladores, filtros, etc.



Introducción

Los circuitos eléctricos examinados hasta el momento constan básicamente de una fuente de alimentación y una carga. En la práctica, puede haber más de una carga conectada a la fuente de alimentación. Dependiendo de la forma como estén conectadas las cargas entre sí y con respecto a la fuente, se habla de circuitos en **serie**, en **paralelo** y **mixtos**, también llamados **serie-paralelo**.

Un **circuito en serie** se forma cuando se conectan dos o más cargas a una fuente, de modo que solo exista una trayectoria para la circulación de la corriente. Para ello, es necesario que las cargas estén conectadas una tras otra a la fuente de alimentación, formando una cadena, **figura 5.1**.

En este caso, la corriente de electrones que sale por el polo negativo (-) de la pila circula primero por la bombilla 1, a continuación por la bombilla 2 y luego por la bombilla 3, ingresando nuevamente por el polo positivo (+). Si se interrumpe, por ejemplo, la corriente a través de la bombilla 2, también se interrumpe la corriente a través de las bombillas 1 y 3.

Un **circuito en paralelo** se forma cuando se conectan dos o más cargas a una misma fuente, de modo que existe más de una trayectoria para la circulación de la corriente, **figura 5.2**. En este caso, la corriente de la pila se reparte entre las bombillas. Si se interrumpe, por ejemplo, la corriente a través de la bombilla 1, la corriente a través de las bombillas 2 y 3 no se interrumpe.

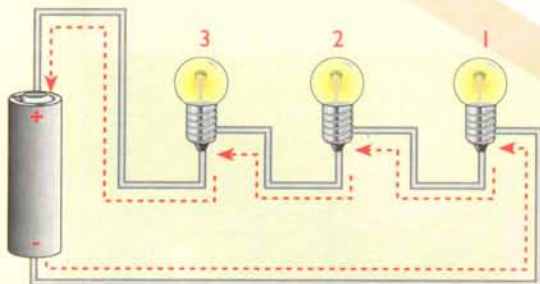


Figura 5.1. Ejemplo de un **circuito en serie**. Las flechas muestran la dirección del flujo de electrones (corriente real). Note que solo existe una trayectoria cerrada para la circulación de la corriente.

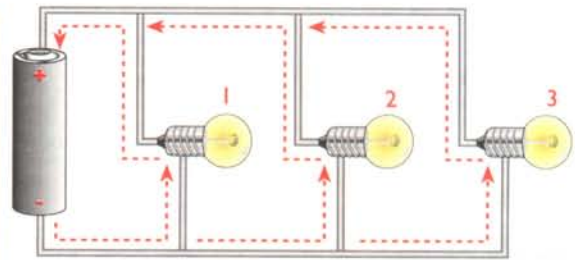


Figura 5.2. Ejemplo de un **circuito en paralelo**. Nuevamente, las flechas indican la dirección del flujo de electrones (corriente real). Cada carga proporciona una trayectoria cerrada para la circulación de la corriente.

Un **circuito mixto** se forma por la combinación de cargas en serie y en paralelo, **figura 5.3**. En este caso si se interrumpe, por ejemplo, la corriente a través de la bombilla 1, también se interrumpe la corriente a través de las otras tres bombillas. Sin embargo, si solo se retira la bombilla 3, las bombillas 1, 2 y 4 siguen encendidas. Lo único que cambia es el nivel de brillo de cada una.

Las ideas anteriores son también aplicables a otros componentes eléctricos y electrónicos. En la **figura 5.4** se muestra, como ejemplo, una resistencia variable, una resistencia fija y un LED conectados en **serie**. En esta lección examinaremos únicamente los casos relacionados con resistencias, baterías, condensadores y bobinas.

Circuitos en serie con resistencias

En la **figura 5.5** se muestra un circuito formado por tres resistencias (R_1 , R_2 , R_3) conectadas en **serie**. También se indican los conductores que conectan las resistencias entre sí y con la fuente. Apliquemos a este circuito las características generales de los circuitos en serie examinadas anteriormente:

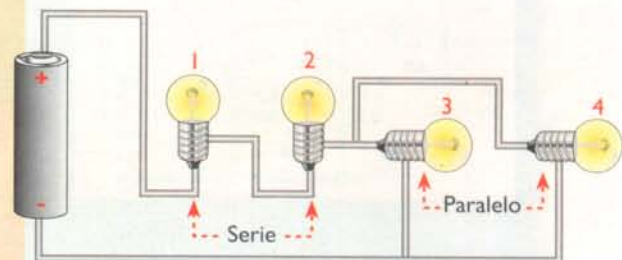


Figura 5.3. Ejemplo de un **circuito mixto** o en **serie-paralelo**

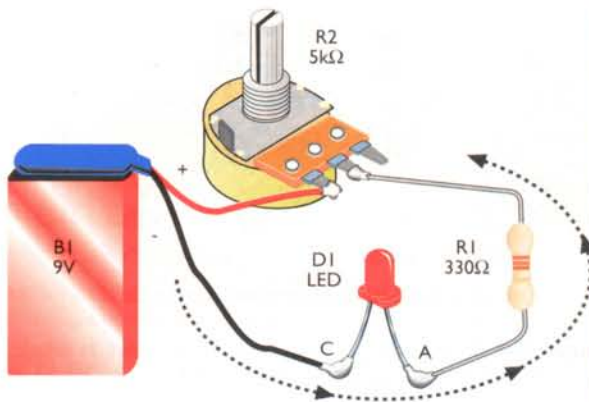


Figura 5.4 Ejemplo de conexión de componentes electrónicos en serie. En este caso, el potenciómetro regula la cantidad de corriente que circula por el circuito y, por tanto, controla el nivel de brillo del LED.

1. Todos los elementos del circuito, incluida la fuente, están conectados uno después de otro, a través de los conductores, formando una cadena. En este caso, el polo positivo (+) de la batería está conectado a un extremo de R1, el otro extremo de R1 a un extremo de R2, el otro extremo de R2 a un extremo de R3, y el otro extremo de R3 al polo negativo (-) de la batería, cerrándose el circuito.
2. Solo existe una trayectoria para la circulación de la corriente. Si el circuito se abre o se rompe en cualquier punto, por ejemplo en el conductor «b» o en la resistencia «R3», todo el circuito queda desconectado y no circula corriente a través de ningún elemento.

Esta última característica es muy empleada para controlar y proteger sistemas eléctricos y electrónicos. Por esta razón, los dispositivos como interruptores y fusibles se conectan siempre en serie con los circuitos. Otro ejemplo muy común de cargas conectadas en serie son las lámparas

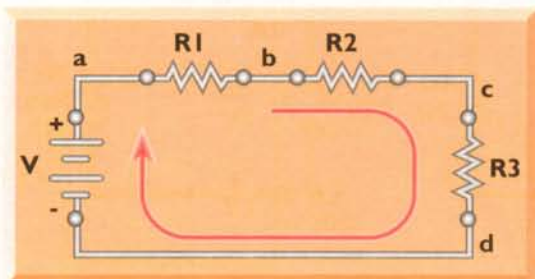


Figura 5.5. Circuito en serie con tres cargas resistivas

ornamentales, como las utilizadas en los árboles de Navidad. Usted seguramente habrá notado que cuando se funde o retira una de estas bombillitas, también dejan de iluminar todas las demás, o un grupo de ellas. Esto se debe a que están conectadas en serie con la bombilla faltante o defectuosa.

Corriente en un circuito en serie

Debido a que en los circuitos en serie solo se tiene una trayectoria para la circulación de la corriente, la cantidad de electrones que pasan por un punto del circuito es la misma en cualquier otro punto. Por tanto, **la corriente a través de los elementos de un circuito en serie es siempre la misma, figura 5.6.**

En este caso, la corriente (I) a través del conductor «a» es la misma corriente que pasa a través de los conductores «b», «c» y «d»; las resistencias R1, R2 y R3; y la fuente V. En todos estos casos, el valor de la corriente a través del circuito es 2A.

Voltajes en un circuito en serie

El voltaje total aplicado por la fuente a un circuito en serie se distribuye a través de cada una de las cargas, de modo que entre más baja sea su resistencia, menor será el voltaje a través suyo, y viceversa. Esta situación se ilustra en la **figura 5.7.**

En este caso, sobre cada carga aparece un voltaje (V_1, V_2 o V_3) cuyo valor depende de su resistencia (R1, R2 o R3) y de la corriente a través suyo

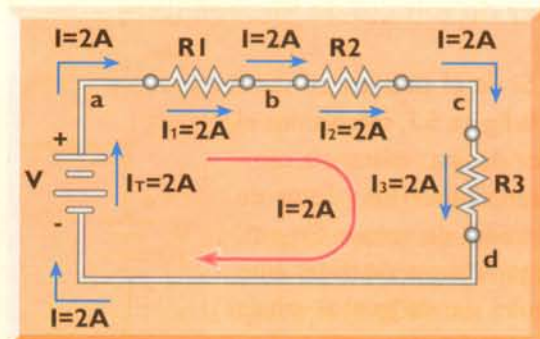


Figura 5.6. Distribución de la corriente en un circuito en serie. Solo existe una trayectoria para la circulación de la corriente. Por tanto, todas sus elementos son atravesados por la misma corriente.

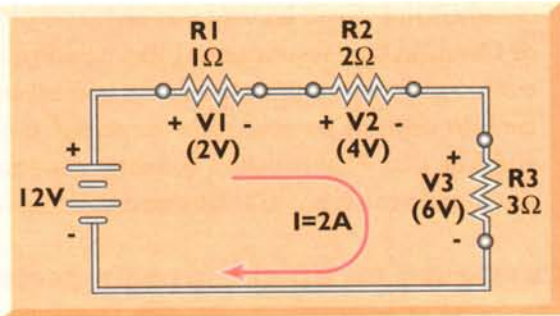


Figura 5.7. División del voltaje en un circuito en serie

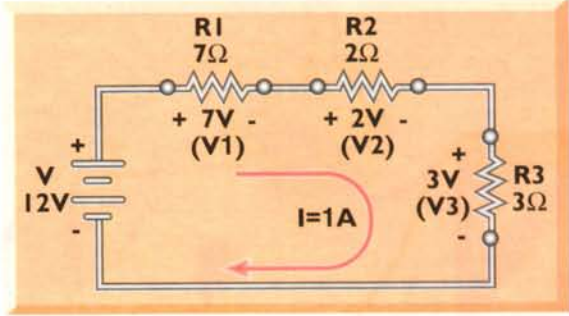


Figura 5.8. En un circuito serie, la suma de las caídas de voltaje en cada resistencia es siempre igual al voltaje aplicado.

(I), que es la misma en todo el circuito. El voltaje sobre cada resistencia se denomina una **caída de voltaje**. Veamos entonces como se distribuyen estas caídas de voltaje a través del circuito.

De acuerdo con la ley de Ohm, la caída de voltaje a través de cualquier carga es igual al producto de su corriente por su resistencia. Por tanto, en nuestro caso, tenemos las siguientes relaciones:

Voltaje	=	Corriente	x	Resistencia
V1	=	2A	x	1Ω = 2V
V2	=	2A	x	2Ω = 4V
V3	=	2A	x	3Ω = 6V
Suma de caídas	=	V1 + V2 + V3	=	12V

Observe que la suma de las caídas de voltaje a través de cada resistencia es igual al voltaje aplicado al circuito. Este resultado, que examinaremos en detalle en una lección posterior, se conoce como la **ley de voltajes de Kirchoff (LVK)**.

Si en el circuito en serie de la figura 5.7, cambiamos el valor de una resistencia, cambiarán también los valores de las caídas de voltaje. Sin embargo, la suma de todas ellas seguirá siendo igual al voltaje aplicado. Esta situación se ilustra en la **figura 5.8**, donde la resistencia de 1Ω (R1) ha sido sustituida por una de 7Ω.

Resistencia total o equivalente de un circuito en serie

En un circuito cualquiera (serie, paralelo o mixto), la corriente entregada por la fuente depende de la resistencia total o equivalente (R_T ó R_{EQ}) que le presenten en conjunto todas las cargas. En un circuito en serie, en particular, esta resistencia es igual a la suma de todas las resistencias individuales del circuito. Esta situación se ilustra en la **figura 5.9**. En este caso:

Resistencia total	=	Suma de las resistencias individuales
R_T	=	$R_1 + R_2 + R_3$
R_T	=	$1\Omega + 2\Omega + 3\Omega$
R_T	=	6Ω

En otras palabras, la fuente considera todo el conjunto de cargas como una sola resistencia, de valor R_T (6Ω). Por esta razón, impulsa a través del circuito una corriente I de valor igual a V/R_T ($12V/6\Omega$), que es la misma para todos los elementos del circuito. En nuestro caso, tenemos:

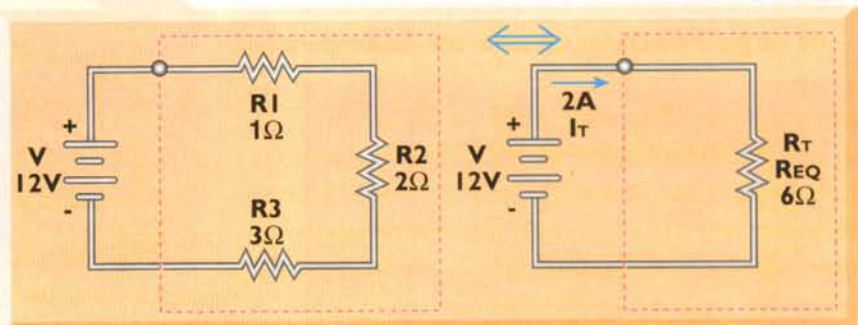


Figura 5.9. Resistencia equivalente de un circuito en serie. La resistencia equivalente del circuito es la suma de las resistencias

Corriente = Voltaje ÷ Resistencia

total	=	Voltaje aplicado	÷	Resistencia total
I_T	=	V	÷	R_T
I_T	=	$12V$	÷	$6\Omega = 2A$

En el cálculo de la resistencia total (R_T) de un circuito en serie se nos pueden presentar las siguientes situaciones particulares:

1. El circuito está formado por dos o más resistencias del mismo valor (R). En este caso, la resistencia total (R_T) está dada por:

R_T	=	Número de resistencias	x	Valor de una resistencia
R_T	=	n	x	R

2. El circuito está formado por dos o más resistencias de diferente valor (R_1, R_2, R_3 , etc.). En este caso, que es el más general, la resistencia total (R_T) está dada por:

R_T = Suma de los valores de cada resistencia

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Por ejemplo, si tenemos ocho resistencias de $1k\Omega$ conectadas en serie, la resistencia total es $R_T = 8 \times 1k\Omega = 8k\Omega$. Así mismo, si tenemos dos resistencias de 100Ω conectadas en serie con una resistencia de 470Ω y una resistencia de 820Ω , la resistencia total es $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 100\Omega + 100\Omega + 470\Omega + 820\Omega = 1.490\Omega$. De cualquier modo, tenga siempre presente esta regla práctica:

“La resistencia total o equivalente de un grupo de resistencias conectadas en serie es siempre mayor que la mayor de las resistencias”.

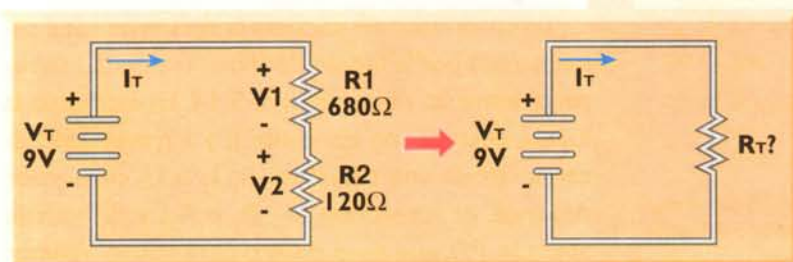


Figura 5.10. Resistencias en serie para el ejemplo 5.1

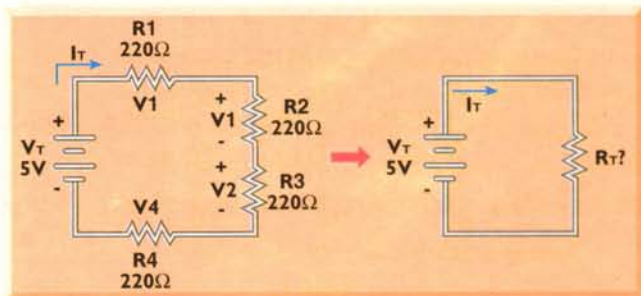


Figura 5.11. Figura para el ejemplo 5.2

En nuestro segundo caso, por ejemplo, 1.490Ω (R_T) es mayor que 820Ω , la resistencia más alta del circuito. Los siguientes ejemplos aclararán el uso de estas fórmulas. El **experimento 5.1** fijará de manera práctica los conocimientos adquiridos.

Ejemplo 5.1. Dos resistencias de 680Ω y 120Ω están conectadas en serie con una batería de $9V$, como se muestra en la **figura 5.10**. Calcule:

- a. La resistencia total del circuito (R_T)
- b. La corriente a través del circuito (I_T)
- c. Las caídas de voltaje en las resistencias (V_1, V_2)
- d. Demuestre que la suma de las caídas de voltaje anteriores es igual al voltaje aplicado (V_T)

Solución. En nuestro caso, $V=9V$, $R_1=680\Omega$ y $R_2=120\Omega$. Por tanto:

- a. $R_T = R_1 + R_2 = 680\Omega + 120\Omega = 800\Omega$
- b. $I_T = V/R_T = 9V/800\Omega = 0,01125A = 11,25mA$
- c. $V_1 = I_T \times R_1 = 0,01125A \times 680\Omega = 7,65V$
 $V_2 = I_T \times R_2 = 0,01125A \times 120\Omega = 1,35V$
- d. $V_1 + V_2 = V_T$
 $7,65V + 1,35V = 9V$
 $12V = 9V$

Ejemplo 5.2. Cuatro resistencias de 220Ω se conectan en serie con una fuente de $5V$, como se indica en la **figura 5.11**. Calcule:

- a. La resistencia total (R_T)
- b. La corriente total (I_T)
- c. Las caídas de voltaje ($V_1 \dots V_4$)

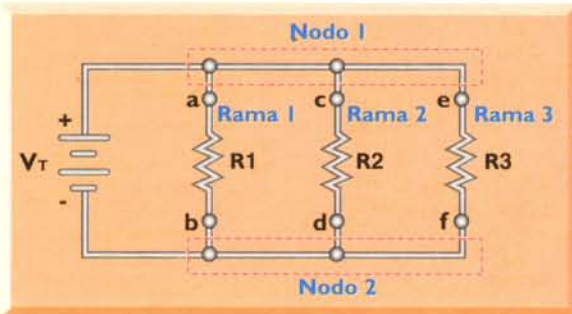


Figura 5.12. Circuito en paralelo con tres cargas resistivas

Solución. En nuestro caso, $V=5V, R_1=R_2=R_3=R_4=R=220\Omega$ y $n=4$. Por tanto:

- $R_T = n \times R = 4 \times 250\Omega = 1.000\Omega$
- $I_T = V/R_T = 5V/1.000\Omega = 0,005A = 5mA$
- $V_1=V_2=V_3=V_4 = I \times R = 0,005A \times 250\Omega = 1,25V$

Circuitos en paralelo con resistencias

En la figura 5.12 se muestra un circuito formado por tres resistencias conectadas en **paralelo**. Apliquemos a este circuito las características de los circuitos en paralelo examinadas anteriormente:

1. Todas las cargas están conectadas simultáneamente a los terminales de la fuente de alimentación. Las cargas y sus alambres de conexión a la fuente se denominan comúnmente **ramas**. Los puntos comunes de conexión de las ramas con la fuente se denominan **nodos**. En este caso, tenemos tres ramas y dos nodos. La rama 1, por ejemplo, está formada por la resistencia R1 y los conductores "a" y "b".

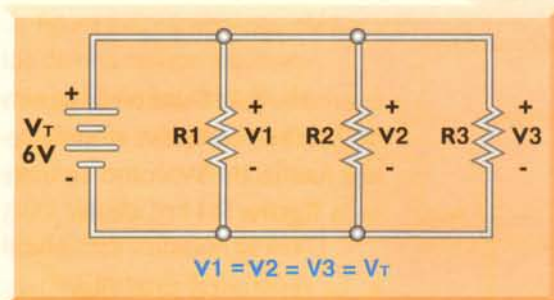


Figura 5.13. Distribución del voltaje en un circuito en paralelo. En este caso, se tiene el mismo voltaje entre todas las ramas

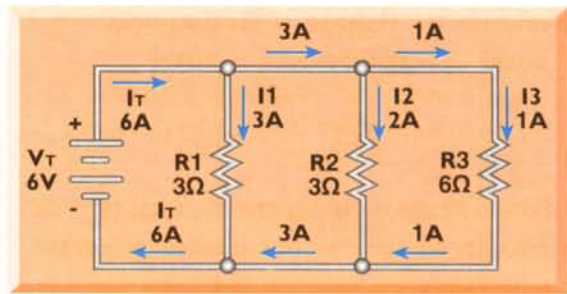


Figura 5.14. División de la corriente en un circuito en paralelo. La corriente total es igual a la suma de las corrientes en las ramas

2. Existe más de una trayectoria para la circulación de la corriente. Si el circuito se abre o se rompe en cualquier punto de una rama, por ejemplo en el conductor «b» o en la resistencia «R1» de la rama 1, todas las demás ramas continúan operando en forma normal.

Esta última característica es muy empleada en las instalaciones eléctricas para permitir la operación de lámparas y electrodomésticos al mismo voltaje, digamos 120V, así como su conexión y desconexión de manera independiente. De hecho, la mayor parte de los circuitos eléctricos utilizados en las casas, fábricas y oficinas para alimentar computadoras, máquinas, etc. son circuitos en paralelo.

Voltaje en un circuito en paralelo

En un circuito en paralelo todas las ramas están conectadas a la fuente. Por tanto, el voltaje aplicado a todas las cargas es el mismo, figura 5.13. En este caso las caídas de voltaje sobre R_1 (V_1), R_2 (V_2) y R_3 (V_3) son idénticas e iguales al voltaje de alimentación. Es decir, $V_1=V_2=V_3=V_T=6V$.

Distribución de la corriente en un circuito en paralelo

En un circuito en paralelo la corriente total suministrada por la fuente de alimentación (I_T) se reparte entre las ramas, figura 5.14. En este caso, la fuente entrega una corriente I_T y a través de cada carga circula una corriente (I_1, I_2 o I_3) cuyo valor depende su resistencia (R_1, R_2 o R_3) y del voltaje aplicado (V), que es el mismo para todas. Veamos entonces como se distribuyen estas corrientes.

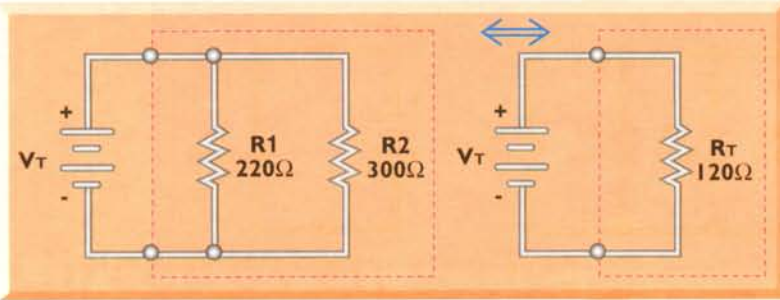


Figura 5.15 Resistencia total de un circuito en paralelo formado por dos resistencias de valores diferentes

De acuerdo con la ley de Ohm, la corriente a través de cualquier carga es igual a la relación entre el voltaje aplicado y su resistencia. Por tanto, en nuestro caso, tenemos las siguientes relaciones:

Corriente	=	Voltaje	÷	Resistencia	=	
I_1	=	6V	÷	2Ω	=	3A
I_2	=	6V	÷	3Ω	=	2A
I_3	=	6V	÷	6Ω	=	1A
Suma de corrientes	=	$I_1 + I_2 + I_3$	=		=	6A

Observe que la suma de las corrientes a través de las resistencias, es igual a la corriente total entregada por la fuente (6A). Este resultado se conoce como la **ley de corrientes de Kirchoff (LCK)**. Note también que a medida que se conectan nuevas cargas a un circuito en paralelo, aumenta también la corriente entregada por la fuente.

Esta última es la razón por la cual se quema un fusible o se dispara un disyuntor (*breaker*) en una instalación eléctrica cuando se conectan demasia-

das lámparas o aparatos en los tomacorrientes. En este caso, conforme se añaden cargas y aumenta la demanda de corriente, llega un momento en el cual la corriente total supera la capacidad nominal del fusible o *breaker*, y éste se funde o dispara, desconectando el circuito. Se dice, entonces, que ha ocurrido una **sobrecarga** o que el circuito está **sobrecargado**.

Resistencia total o equivalente de un circuito en paralelo

En un circuito en paralelo, la corriente total entregada por la fuente depende de la resistencia total o equivalente (R_T o R_{EQ}) ofrecida por el conjunto de cargas. Esta resistencia puede calcularse de las siguientes formas:

1. Si el circuito está formado por dos resistencias diferentes (R_1 y R_2), la resistencia total es:

$$R_T = \frac{\text{Producto de las resistencias}}{\text{Suma de las resistencias}}$$

$$R_T = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$$

En la **figura 5.15** se muestra un ejemplo. En este caso, $R_1=200\Omega$ y $R_2=300\Omega$. Por tanto:

$$R_T = (R_1 R_2) / (R_1 + R_2)$$

$$R_T = (200 \times 300) / (200 + 300) \Omega$$

$$R_T = 60.000 / 500 \Omega$$

$$R_T = 120 \Omega$$

2. Si el circuito está formado por una resistencia de valor $R_1=R$ en paralelo con otra de valor $R_2=R/n$, es decir n veces menor, la resistencia total es:

$$R_T = \frac{\text{Resistencia mayor}}{1 + \text{número de veces}}$$

$$R_T = R / 1 + n$$

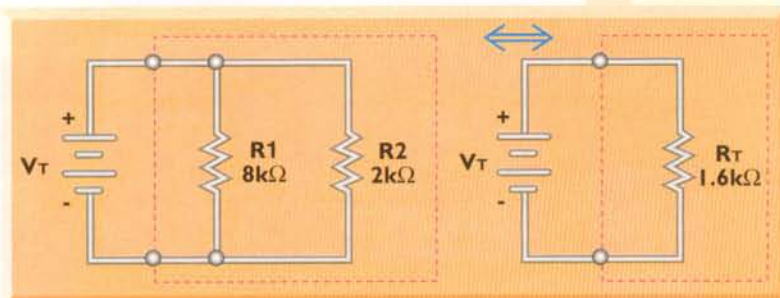


Figura 5.16. Resistencia total de un circuito en paralelo formado por dos resistencias de valores múltiplos

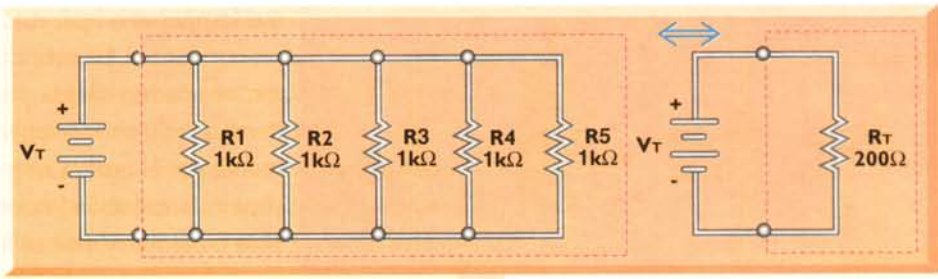


Figura 5.17. Resistencia total de un circuito en paralelo formado por resistencias del mismo valor.

En la figura 5.16 se muestra un ejemplo. En este caso, $R_1=8k\Omega=R$ y $R_2=2k\Omega=R/4$. Es decir, $R=8k\Omega$ y $n=4$. Por tanto:

$$R_T = R/(n+1)$$

$$R_T = 8k\Omega/(4+1)$$

$$R_T = 8k\Omega/5$$

$$R_T = 1,6k\Omega$$

3. Si el circuito está formado por dos o más resistencias del mismo valor (R), la resistencia total es:

$$R_T = \frac{\text{Valor de una resistencia}}{\text{Número de resistencias}}$$

$$R_T = R/n$$

En la figura 5.17 se muestra un ejemplo. En este caso, hay cinco resistencias idénticas ($n=5$), cuyos valores son $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R=1k\Omega$. Por tanto:

$$R_T = R/5 = 1k\Omega/5$$

$$R_T = 0,2k\Omega = 200\Omega$$

4. Si el circuito está formado por dos o más resistencias de diferente valor (R_1, R_2, R_3, \dots), la resistencia total es:

$$R_T = \frac{1}{\text{Suma de los inversos de las resistencias}}$$

$$R_T = 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots)$$

Este es el caso más general y se aplica a cualquier circuito en paralelo, incluyendo los tres casos particulares examinados anteriormente.

En la figura 5.18 se presenta un ejemplo. En este caso, $R_1=2k\Omega$, $R_2=2,5k\Omega$ y $R_3=10k\Omega$. Por tanto:

$$R_T = 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)$$

$$R_T = 1/(1/2 + 1/2,5 + 1/10) k\Omega$$

$$R_T = 1/(0,5 + 0,4 + 0,1) k\Omega$$

$$R_T = 1/1,0 k\Omega$$

$$R_T = 1 k\Omega$$

De cualquier modo, cuando efectúe el cálculo de resistencias en paralelo, tenga siempre presente esta regla práctica:

“La resistencia total o equivalente de un grupo de resistencias conectadas en paralelo es siempre menor que la menor de las resistencias involucradas”

En nuestro último caso, por ejemplo, figura 5.18, la resistencia total ($1k\Omega$), es menor que $2k\Omega$. Asimismo, en el primer caso, figura 5.15, $R_T=120\Omega$ es menor que $R_1=200\Omega$. Igualmente, en el segundo caso, figura 5.16, $R_T=1,6k\Omega$ es menor que $R_2=2k\Omega$. Por lo mismo, en el tercer caso, figura 5.17, $R_T=200\Omega$ es menor que $R=1k\Omega$. El experimento 5.1 fijará de manera práctica todos los conocimientos adquiridos hasta el momento sobre los circuitos en paralelo.

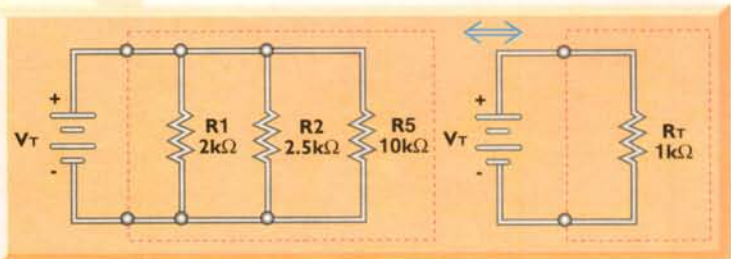
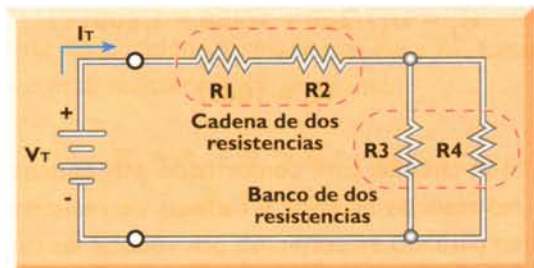
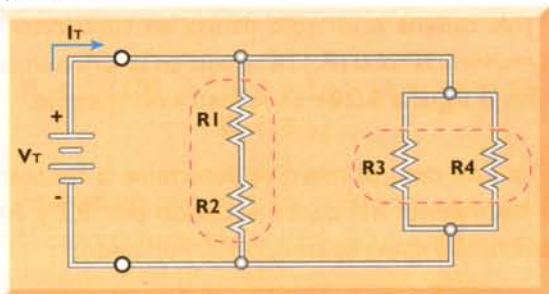


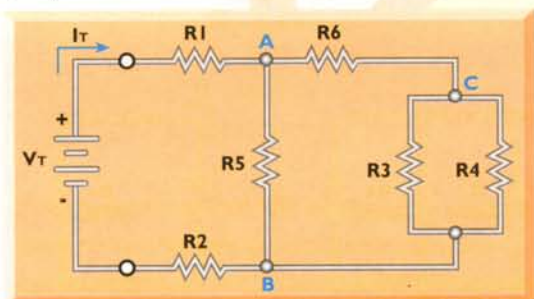
Figura 5.18. Resistencia total de un circuito en paralelo formado por resistencias de diferente valor.



a. Circuito mixto con una cadena (R1 y R2) y un banco (R3 y R4) en serie



b. Circuito mixto con una cadena (R1 y R2) y un banco (R3 y R4) en paralelo



c. Circuito mixto con bancos y cadenas de resistencias en serie-paralelo

Figura 5.19. Ejemplos de circuitos mixtos

Circuitos mixtos con resistencias

En un circuito mixto se combinan las características de un circuito en serie y un circuito en paralelo. Por tanto, algunas cargas están conectadas en

serie para que por ellas circule la misma corriente, mientras que otras lo están en paralelo para que tengan el mismo voltaje. En la **figura 5.19** se muestran algunos ejemplos. En todos estos casos, un grupo de resistencias en serie forman lo que se denomina una **cadena** y un grupo de resistencias en paralelo lo que se denomina un **banco**.

Resistencia total o equivalente en circuitos mixtos

En un circuito mixto, la corriente total entregada por la fuente depende de la resistencia total o equivalente (R_T ó R_{EQ}) ofrecida por el conjunto de cargas. Esta resistencia puede calcularse de las siguientes formas:

1. Si el circuito está conformado por bancos de resistencias conectados en serie, deben primero calcularse las resistencias equivalentes de los bancos. Puesto que estas resistencias quedan en serie con las demás resistencias, el problema se reduce al cálculo de la resistencia total (R_T) de un circuito en serie. En la **figura 5.20a** se muestra un ejemplo.

En este caso, primero se determina la resistencia equivalente del banco formado por R2 y R3. Llamamos a esta resistencia R5. Por tanto:

$$R_5 = R_2 || R_3 = (4 \times 6) / (4 + 6) \text{ k}\Omega = 2,4 \text{ k}\Omega$$

Puesto que R5 queda ahora en serie con R1 y con R4, la resistencia total (R_T) del circuito es:

$$R_T = R_1 + R_5 + R_4 = 1 \text{ k}\Omega + 2,4 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega = 6,4 \text{ k}\Omega$$

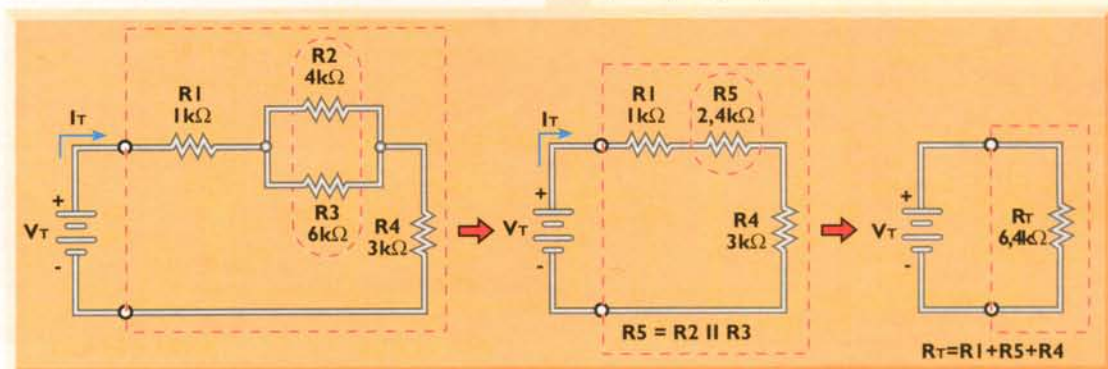


Figura 5.20a. Resistencia equivalente de un circuito mixto conformado por bancos de resistencias en serie

2. Si el circuito está conformado por cadenas de resistencias conectadas en paralelo, deben determinarse primero las resistencias equivalentes de las cadenas. Puesto que estas resistencias quedan en paralelo con las demás resistencias, el problema se reduce al cálculo de la resistencia total de un circuito en paralelo (R_T). En la **figura 5.20b** se muestra un ejemplo.

En este caso, primero se determina la resistencia equivalente de la cadena formada por R_1 y R_2 . Llamamos a esta resistencia R_5 . Por tanto:

$$R_5 = R_1 + R_2 = 100\Omega + 100\Omega = 200\Omega$$

Puesto que R_5 queda ahora en paralelo con R_3 y R_4 , la resistencia total (R_T) del circuito es:

$$R_T = 1/(1/R_5 + 1/R_3 + 1/R_4)$$

$$R_T = 1/(1/200 + 1/300 + 1/600)\Omega$$

$$R_T = 100\Omega$$

3. Si el circuito está conformado por bancos de resistencias en serie y cadenas de resistencias en paralelo, se comienza por reducir las ramas más alejadas de la fuente. El proceso se continúa en dirección de la fuente hasta obtener una sola cadena o un solo banco, en cuyo caso la resistencia total (R_T) se calcula en la forma usual. En la **figura 5.20c** se muestra un ejemplo.

En este caso, primero se determina la resistencia equivalente del banco formado por R_3 y R_4 . Llamamos a esta resistencia R_7 . Por tanto:

$$R_7 = 1/(1/R_3 + 1/R_4) = 1/(1/12 + 1/12)\Omega$$

$$R_7 = 6\Omega$$

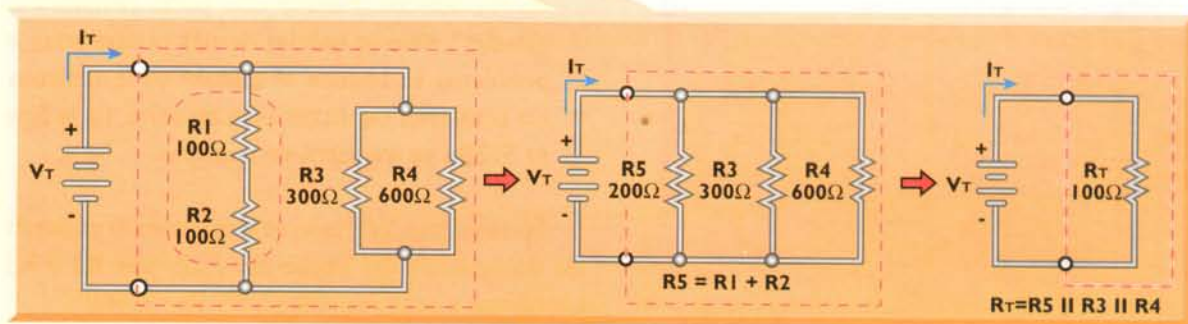


Figura 20b. Cálculo de la resistencia equivalente de un circuito mixto conformado por cadenas de resistencias en paralelo

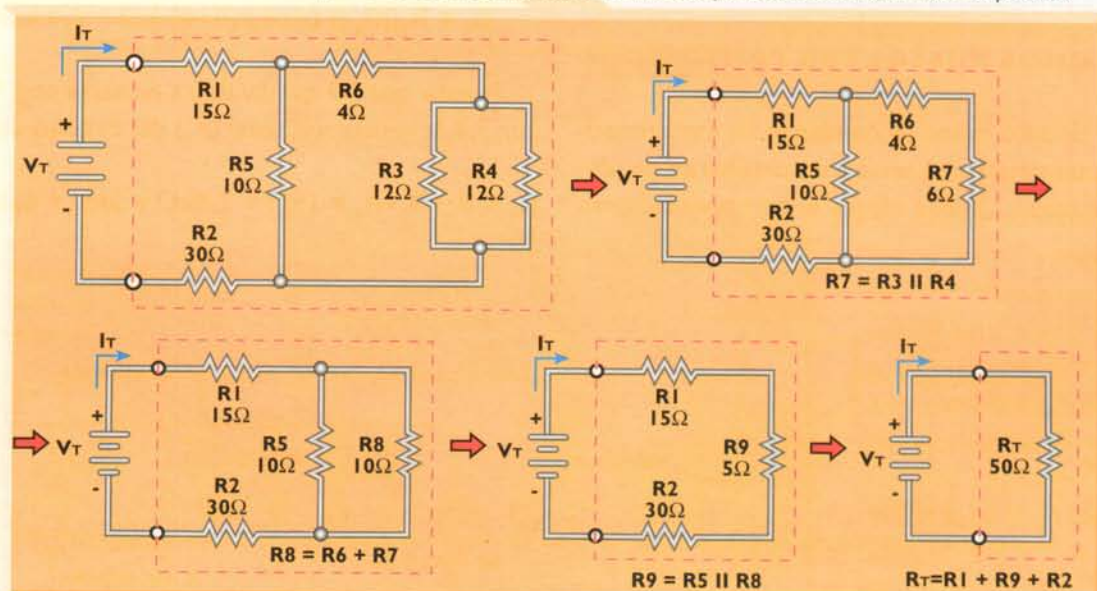


Figura 20c Resistencia total de un circuito mixto conformado por bancos y cadenas de resistencias en serie y en paralelo

A continuación, calculamos la resistencia equivalente de la cadena formada por R6 y R7. Llamamos a esta resistencia R8. Por tanto:

$$R_8 = R_6 + R_7 = 4\Omega + 6\Omega$$

$$R_8 = 10\Omega$$

Seguidamente, calculamos la resistencia equivalente del banco formado por R5 y R8. Llamamos a esta resistencia R9. Por tanto:

$$R_9 = 1/(1/R_5 + 1/R_8) = 1/(1/10 + 1/10)\Omega$$

$$R_9 = 5\Omega$$

Finalmente, calculamos la resistencia equivalente de la cadena formada por R1, R2 y R9. Ésta es la resistencia total (R_T) del circuito. Por tanto:

$$R_T = R_1 + R_9 + R_2 = 15\Omega + 5\Omega + 30\Omega$$

$$R_T = 50\Omega$$

Voltajes y corrientes en un circuito mixto

Para determinar las corrientes y los voltajes en un circuito mixto, deben calcularse primero la resistencia total (R_T) y la corriente total (I_T). El análisis se efectúa desde la fuente hacia las cargas. Como ejemplo, consideremos el cálculo de las corrientes y voltajes a través del circuito de la **figura 5.20(c)** cuando se aplica un voltaje de alimentación (V_T) de 100V. Esta situación se ilustra en la **figura 5.21**. En este caso, $V_T = 100V$ y $R_T = 50\Omega$. Por tanto:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{100V}{50\Omega} = 2A$$

Esta corriente es la misma que circula a través de R1, R2 y la resistencia equivalente R9. Es decir $I_T = I_1 = I_2 = I_9$. Por tanto, las caídas de voltaje en estas resistencias son:

$$V_1 = I_T \times R_1 = 2A \times 15\Omega = 30V$$

$$V_2 = I_T \times R_2 = 2A \times 30\Omega = 60V$$

$$V_9 = I_T \times R_9 = 2A \times 5\Omega = 10V$$

La caída de voltaje sobre R9 es en realidad la diferencia de potencial que existe entre los puntos A y B del circuito. Esto significa que $V_9 = V_5 = V_8$, es decir las caídas de voltaje a través de la resistencia R5 (V_5) y la resistencia equivalente R8 (V_8) son ambas iguales a 10V. Por tanto, las corrientes a través de estas resistencias son:

$$I_5 = V_5/R_5 = 10V/10\Omega = 1A$$

$$I_8 = V_8/R_8 = 10V/10\Omega = 1A$$

La corriente I_8 es en realidad la corriente que circula a través de R6 y la resistencia equivalente R7. Esto significa que $I_8 = I_6 = I_7$. Por tanto, las caídas de voltaje en estas resistencias son:

$$V_6 = I_6 \times R_6 = 1A \times 4\Omega = 4V$$

$$V_7 = I_7 \times R_7 = 1A \times 6\Omega = 6V$$

La caída de voltaje sobre R7 es en realidad la diferencia de potencial que existe entre los puntos C y B del circuito. Esto significa que $V_7 = V_3 = V_4$. Por tanto, las corrientes a través de estas resistencias son:

$$I_3 = V_3/R_3 = 6V/12\Omega = 0,5A$$

$$I_4 = V_4/R_4 = 6V/12\Omega = 0,5A$$

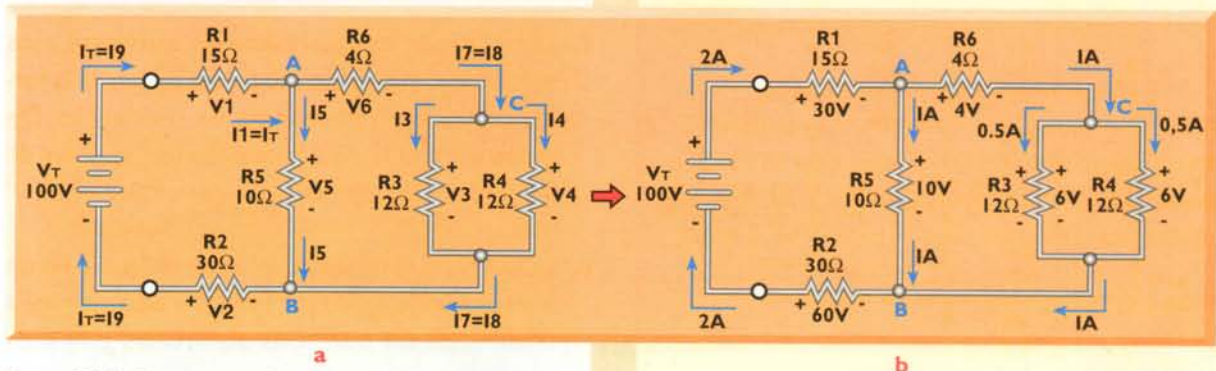


Figura 5.21. Corrientes y voltajes en un circuito mixto

Los resultados de nuestros cálculos se resumen en el circuito de la **figura 5.21b**.

Potencia en circuitos en serie, en paralelo y mixtos

En cualquier circuito con resistencias, la potencia proveniente de la fuente de alimentación del circuito se disipa en forma de calor en cada una de las resistencias. En otras palabras, la potencia total (P_T) entregada por la fuente es igual a la suma de las potencias absorbidas por las resistencias, sin importar si estas últimas están conectadas en serie, en paralelo o en una configuración mixta. Esto es:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Como ejemplo, consideremos nuevamente el circuito mixto de la **figura 5.21(b)**, reproducido en la **figura 5.22** para mayor comodidad. En este caso, la potencia entregada por la fuente (P_T) es:

$$P_T = V_T \times I_T = 100V \times 2A = 200W$$

Asimismo, las potencias absorbidas por cada una de las resistencias son:

$$\begin{aligned} P_1 &= V_1 \times I_T = 30V \times 2A = 60W \\ P_2 &= V_2 \times I_T = 60V \times 2A = 120W \\ P_3 &= V_3 \times I_3 = 6V \times 0.5A = 3W \\ P_4 &= V_4 \times I_4 = 6V \times 0.5A = 3W \\ P_5 &= V_5 \times I_5 = 10V \times 1A = 10W \\ P_6 &= V_6 \times I_6 = 4V \times 1A = 4W \end{aligned}$$

Por tanto:

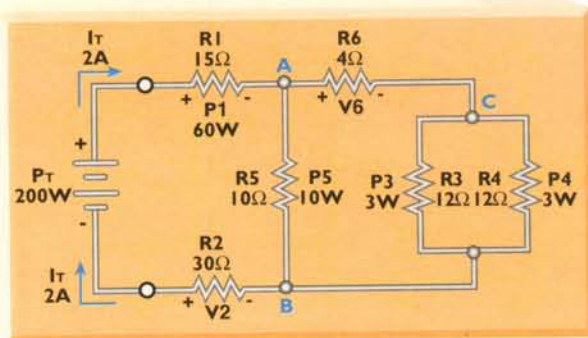


Figura 5.22. Distribución de potencias en un circuito mixto

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 200W = P_T$$

El siguiente experimento fijará de manera práctica todo lo que usted ha aprendido acerca de los circuitos de resistencias en serie, en paralelo y en configuraciones mixtas. Le recomendamos seguirlo con atención, efectuar las mediciones y cálculos con cuidado y observar todos los detalles, sin omitir ninguno. En este experimento usted comprobará, entre otras, las siguientes características generales de estos tipos de circuitos:

1. La resistencia total en un circuito en serie es mayor que la mayor de las resistencias.
2. La resistencia total en un circuito en paralelo es menor que la menor de las resistencias.
3. La corriente total entregada por la fuente en un circuito en serie es la misma que circula a través de todas las resistencias.
4. La corriente total entregada por la fuente en un circuito en paralelo se distribuye entre las resistencias y es igual a la suma de las corrientes que circulan por cada una.
5. El voltaje total entregado por la fuente en un circuito en serie se distribuye entre las resistencias y es igual a la suma de las caídas de voltaje sobre cada una.
6. El voltaje total entregado por la fuente en un circuito en paralelo es el mismo aplicado a través de cada una de las resistencias.
7. La resistencia total, así como las corrientes y los voltajes en un circuito mixto, dependen de la forma como estén conectadas las resistencias. De todas formas, se siguen cumpliendo las leyes de Kirchoff de las corrientes y los voltajes.
8. La potencia total entregada por la fuente en un circuito en serie, en paralelo o mixto es igual a la suma de las potencias absorbidas por cada una de las resistencias.

Experimento 5.1. Análisis de circuitos con resistencias en serie, en paralelo y en configuraciones mixtas

Objetivos

- Verificar, de manera práctica, las características de los circuitos en serie, en paralelo y mixtos utilizando resistencias como cargas
- Observar el comportamiento del voltaje, la corriente y la potencia en los mismos circuitos
- Demostrar el cumplimiento las leyes de Kirchoff de los voltajes y las corrientes en los mismos circuitos
- Medir la resistencia equivalente de los mismos circuitos y compararla con los valores calculados teóricamente

Materiales necesarios

- l Tablero de conexiones sin soldadura (*protoboard*)
- l Batería de 9V, preferiblemente alcalina
- l Conector para batería
- l Resistencia de $1\text{k}\Omega$ (marrón-negro-rojo)
- l Resistencia de $1,8\text{k}\Omega$ (marrón-gris-rojo)
- l Resistencia de $4,7\text{k}\Omega$ (amarillo-violeta-rojo)
- l Resistencia de $8,2\text{k}\Omega$ (gris-rojo-rojo)

- l Metro de alambre telefónico #24 para puentes
- l Multímetro digital
- l Calculadora

Nota. Todas las resistencias son de composición de carbón y 5% de tolerancia (última banda dorada). Pueden ser de $1/2\text{W}$ o $1/4\text{W}$.

Procedimiento

Primera parte. Generalidades

1. Configure su multímetro digital como medidor de resistencia. Mida el valor real de cada una de las resistencias utilizadas, **figura 5.23**. Registre estos valores en una tabla. Llame R1 la resistencia de $1\text{k}\Omega$, R2 la de $1,8\text{k}\Omega$, R3 la de $4,7\text{k}\Omega$ y R4 la de $8,2\text{k}\Omega$. En nuestro caso, obtuvimos los siguientes resultados:

R1 = 0,99 k Ω
R3 = 4,63 k Ω

R2 = 1,804 k Ω
R4 = 7,93k Ω

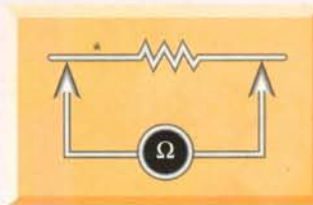
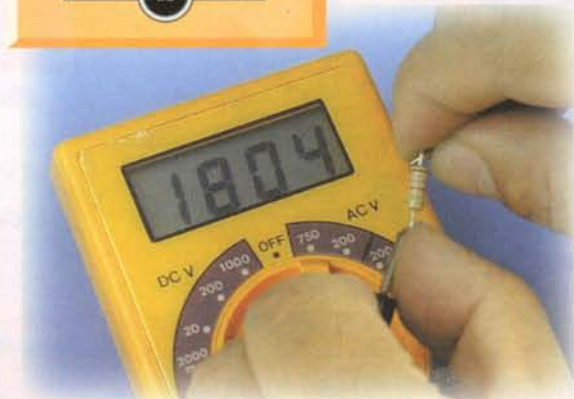


Figura 5.23. Midiendo los valores reales de las resistencias



2. Configure su multímetro como voltímetro para CC. Mida entonces el voltaje entregado por la batería en condiciones de circuito abierto, **figura 5.24**. Registre este valor (V). En nuestro caso, obtuvimos **V=9,5V**.



Figura 5.24. Midiendo el voltaje de salida de la batería en condiciones de circuito abierto

3. Provea la batería con su respectivo conector. Si es necesario, estañe las puntas del conector para facilitar su inserción en el *protoboard*.
4. Utilizando el alambre telefónico, corte unos 10 puentes de alambre de unos 12 mm de longitud. En las prácticas que siguen, estos puentes le servirán como conductores de conexión removibles para facilitar las mediciones de corriente con el multímetro.

Segunda parte. Conexión de resistencias en serie

5. Seleccione las resistencias R1 (1kΩ), R2 (1,8kΩ) y R3 (4,7kΩ). Conéctelas entonces en serie sobre el *protoboard*, figura 5.25. Utilice los puentes de alambre previamente cortados para formar el circuito.
6. Con su multímetro configurado como óhmetro, mida la resistencia total o equivalente (RT o REQ) del circuito, figura 5.26. Anote el resultado obtenido. ¿Coincide razonablemente este valor con el esperado teóricamente? En nuestro caso, medimos $RT=7,47k\Omega$. El valor esperado era:

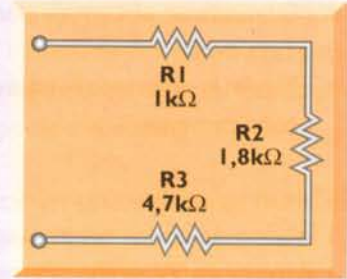


Figura 5.25. Conectando las resistencias en serie

$$RT = R1 + R2 + R3$$

$$RT = 0,99k\Omega + 1,804k\Omega + 4,63 k\Omega$$

$$RT = 7,424 k\Omega$$

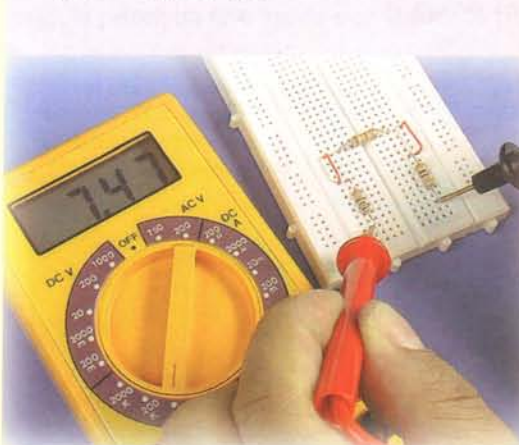
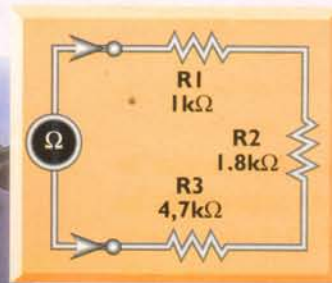


Figura 5.26 Midiendo la resistencia total

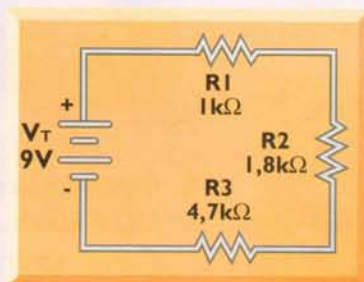


a. Diagrama esquemático

Por tanto, el valor medido (7,47kΩ) coincide razonablemente con el esperado (7,424kΩ). La diferencia o error es de apenas de 46Ω, es decir el 0,62%. ¿Cuánto obtuvo usted?

b. Circuito práctico

7. Complete el circuito en serie alimentándolo mediante la batería, como se indica en la figura 5.27.



a. Diagrama esquemático

b. Circuito práctico

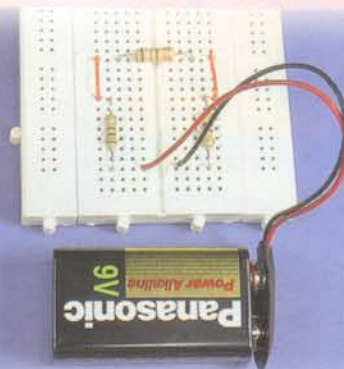
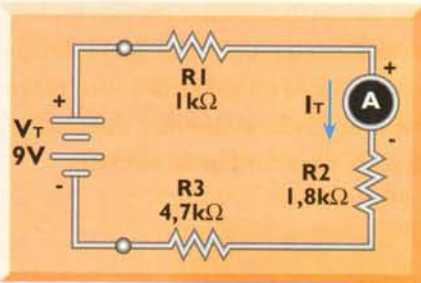


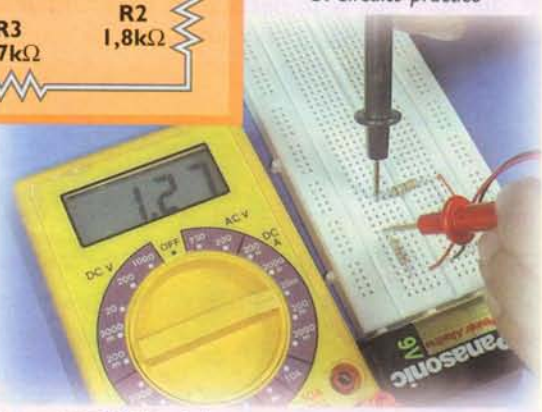
Figura 5.27. Alimentando el circuito en serie con la batería

8. Configure su multímetro digital como miliamperímetro para CC. Mida entonces la corriente a través del circuito, **figura 5.28**. Para ello, retire cualquiera de los puentes de conexión y conecte en su lugar el multímetro. Como puntos de contacto puede utilizar los terminales desnudos de las resistencias. Anote el valor medido y compárelo con el esperado teóricamente. Una vez hecha esta medida, reinstale el puente. En nuestro caso, obtuvimos $I_T = 1,27 \text{ mA}$. El valor esperado era:

$$I_T = V_T / R_T = 9,5V / 7,47k\Omega = 1,27 \text{ mA}$$



a. Diagrama esquemático



b. Circuito práctico

Figura 5.28. Midiendo la corriente en un circuito en serie

9. Configure su multímetro como voltímetro para CC. Mida entonces la caída de voltaje a través de cada resistencia (V_1, V_2, V_3) y compare su suma con el voltaje entregado por la batería (V_T), **figura 5.29**. Anote los valores obtenidos y compárelos con los esperados teóricamente. En nuestro caso, obtuvimos $V_T = 9,48V$, $V_1 = 1,26V$, $V_2 = 2,28V$ y $V_3 = 5,90V$. Los valores esperados eran:

$$V_1 = I \times R_1 = 1,27\text{mA} \times 0,99k\Omega = 1,257V$$

$$V_2 = I \times R_2 = 1,27\text{mA} \times 1,804k\Omega = 2,291V$$

$$V_3 = I \times R_3 = 1,27\text{mA} \times 4,63k\Omega = 5,880V$$

$$V_T = I \times R_T = 1,27\text{mA} \times 7,47k\Omega = 9,487V$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 = 9,428V$$

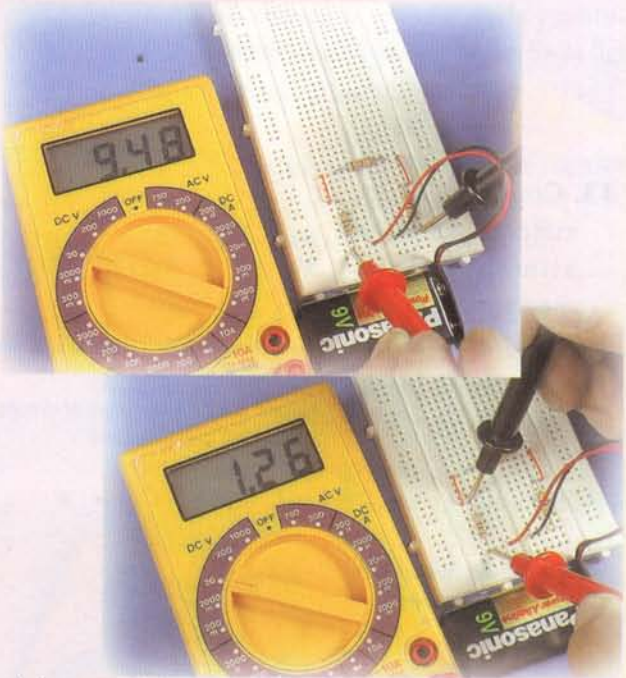
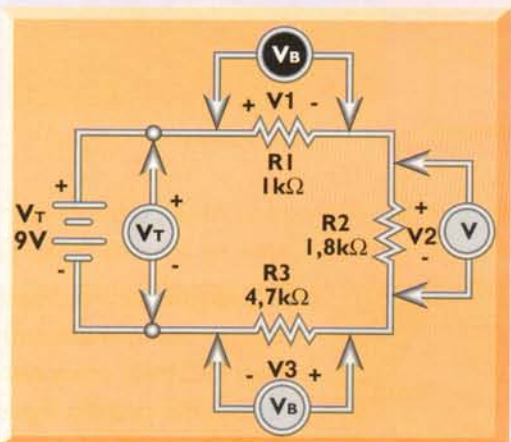


Figura 5.29. Midiendo el voltaje de entrada y las caídas de voltaje en un circuito en serie

10. Calcule la potencia entregada por la fuente (PT) y compárela con la suma de las potencias absorbidas por cada resistencia. En nuestro caso:

$$P_T = V_T \times I_T = 9,48V \times 1,27\text{mA} = 12,04 \text{ mW}$$

$$P_1 = V_1 \times I_T = 1,26V \times 1,27\text{mA} = 1,60 \text{ mW}$$

$$P_2 = V_2 \times I_T = 2,28V \times 1,27\text{mA} = 2,90 \text{ mW}$$

$$P_3 = V_3 \times I_T = 5,90V \times 1,27\text{mA} = 7,49 \text{ mW}$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 11,99 \text{ mW} \approx P_T$$

Tercera parte. Conexión de resistencias en paralelo

11. Seleccione otra vez las resistencias R1 (1kΩ), R2 (1,8kΩ) y R3 (4,7kΩ), pero conéctelas ahora en paralelo sobre el protoboard, **figura 5.30**. Nuevamente, utilice los puentes de alambre que sean necesarios para formar el circuito.

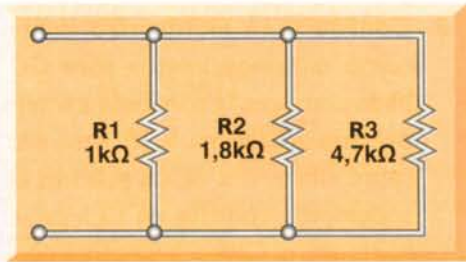


Figura 5.30 Conexión de las resistencias en paralelo

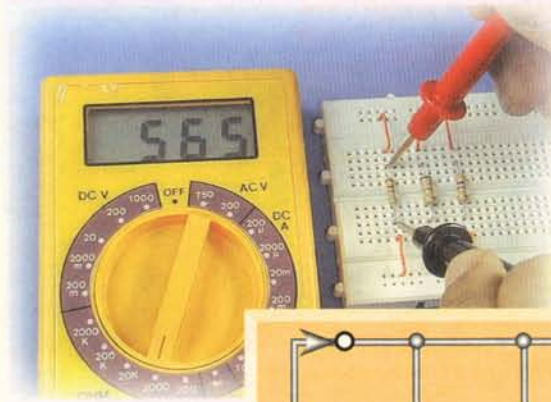
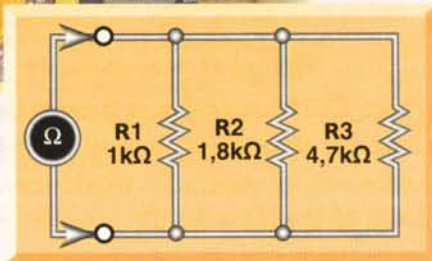


Figura 5.31. Midiendo la resistencia total de un circuito en paralelo



12. Con su multímetro configurado como óhmetro, mida la resistencia total o equivalente (R_T o R_{EQ}) del circuito, **figura 5.31**. Anote el resultado obtenido. En nuestro caso, medimos $R_T = 565\Omega$. El valor esperado era $R_T = 562\Omega$ ¿Por qué?

13. Complete el circuito en paralelo alimentándolo mediante la batería, **figura 5.32**.

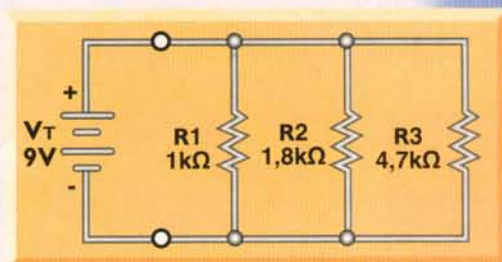


Figura 5.32 Alimentando el circuito en paralelo con la batería

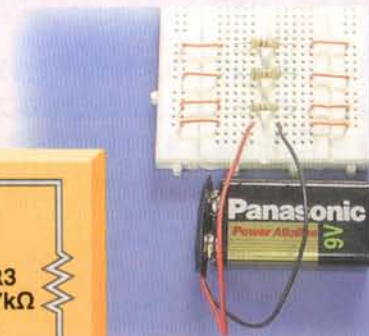
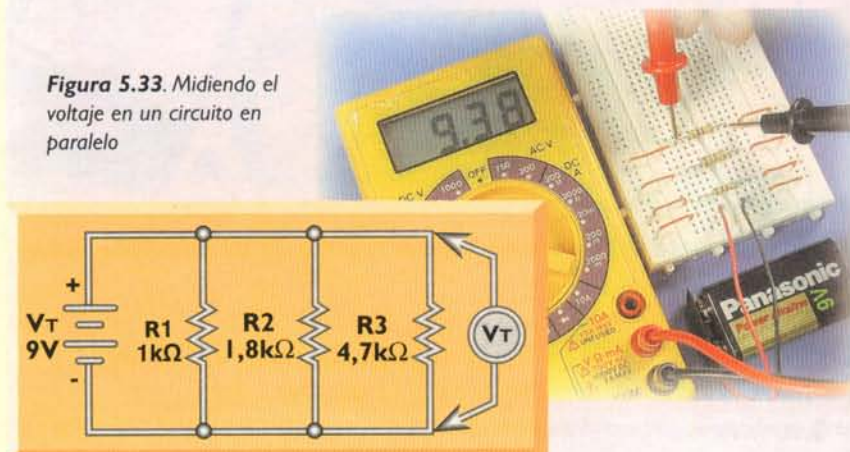


Figura 5.33. Midiendo el voltaje en un circuito en paralelo



14. Configure su multímetro digital como voltímetro para CC. Mida entonces el voltaje del circuito, **figura 5.33**. Anote el valor medido y compárelo con el esperado teóricamente. En nuestro caso, obtuvimos $V_T = 9,38\text{ V}$. El valor esperado era $V_T = 9,5\text{ V}$ ¿Por qué?

15. Configure su multímetro como miliamperímetro para CC. Mida entonces la corriente entregada por la fuente (I_T) y la corriente a través de cada resistencia (I_1 , I_2 , I_3), figuras 5.34 y 5.35. Anote los valores obtenidos y compárelos con los esperados teóricamente. En nuestro caso, obtuvimos $I_T=16,5\text{mA}$, $I_1=9,3\text{mA}$, $I_2=5,1\text{mA}$ e $I_3=2,0\text{mA}$. Los valores esperados eran $I_1 = 9,475\text{mA}$, $I_2 = 5,2\text{mA}$, $I_3 = 2,062\text{mA}$ e $I_T = 16,4\text{mA}$ ¿Por qué?

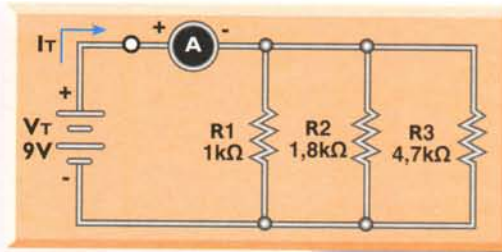


Figura 5.34. Midiendo la corriente total en un circuito en paralelo

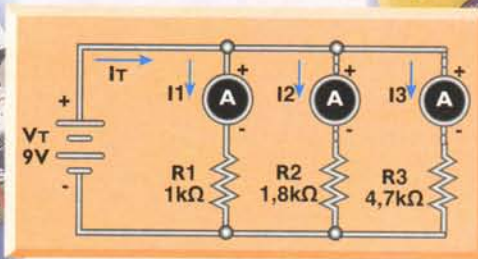
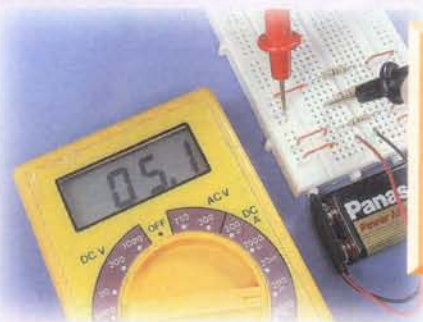


Figura 5.35. Midiendo las corrientes de rama en un circuito en paralelo

16. Calcule la potencia entregada por la fuente (P_T) y compárela con la suma de las potencias absorbidas por cada resistencia. En nuestro caso:

$$P_T = V_T \times I_T = 9,38\text{V} \times 16,5\text{mA} = 154,77\text{ mW}$$

$$P_1 = V_T \times I_1 = 9,38\text{V} \times 9,3\text{mA} = 87,23\text{ mW}$$

$$P_2 = V_T \times I_2 = 9,38\text{V} \times 5,1\text{mA} = 47,84\text{ mW}$$

$$P_3 = V_T \times I_3 = 9,38\text{V} \times 2,0\text{mA} = 18,76\text{ mW}$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 153,83\text{ mW} \approx P_T$$

Tercera parte. Conexión de resistencias en serie-paralelo

17. Seleccione las resistencias R_1 ($1\text{k}\Omega$), R_2 ($1,8\text{k}\Omega$), R_3 ($4,7\text{k}\Omega$) y R_4 ($8,2\text{k}\Omega$) y conéctelas sobre el protoboard en una configuración mixta, figura 5.36. Nuevamente, utilice los puentes de alambre que sean necesarios para formar el circuito.

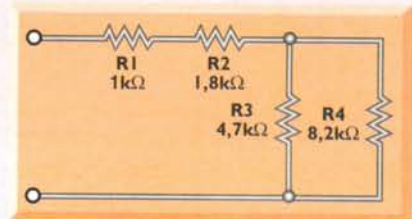


Figura 5.36. Conectando las resistencias en una configuración mixta o serie paralelo

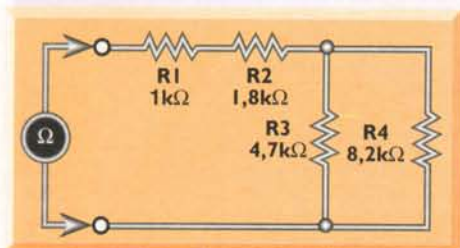
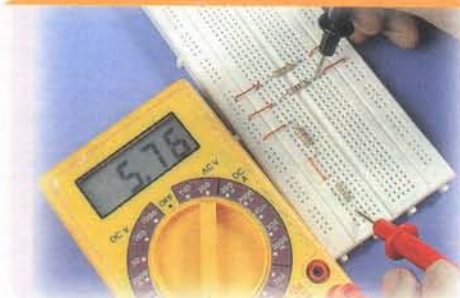
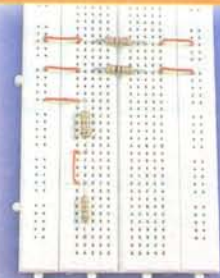


Figura 5.37. Midiendo la resistencia total de un circuito mixto



18. Con su multímetro configurado como óhmetro, mida la resistencia total o equivalente (R_T o R_{EQ}) del circuito, figura 5.37. Anote el resultado obtenido. En nuestro caso, medimos $R_T = 5,76\text{ k}\Omega$. El valor esperado era $5,714\text{k}\Omega$ ¿Por qué?

19. Complete el circuito alimentándolo mediante la batería, figura 5.38.

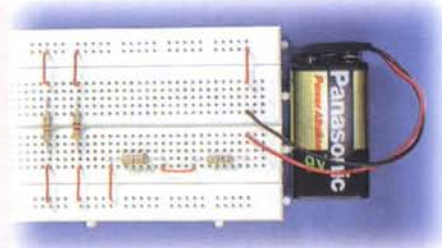
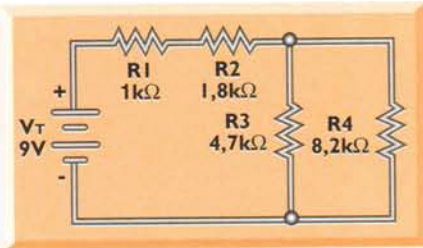


Figura 5.38. Alimentando el circuito mixto con la batería

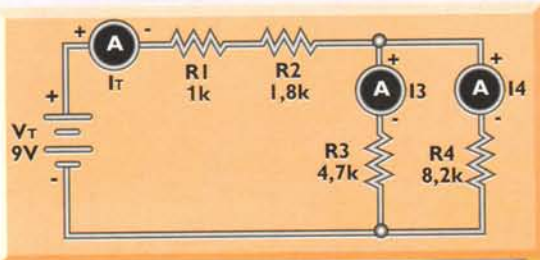


Figura 5.39. Midiendo las corrientes del circuito mixto



20. Configure su multímetro como amperímetro para CC y mida las corrientes del circuito, figura 5.39. Anote los valores obtenidos. En nuestro caso, obtuvimos $I_T = 1,64\text{mA}$, $I_3 = 1,03\text{mA}$ e $I_4 = 0,59\text{mA}$. Los valores esperados eran $I_3 = 1,03\text{mA}$, $I_4 = 0,60\text{mA}$ e $I_T = 1,62\text{mA}$ ¿Por qué?

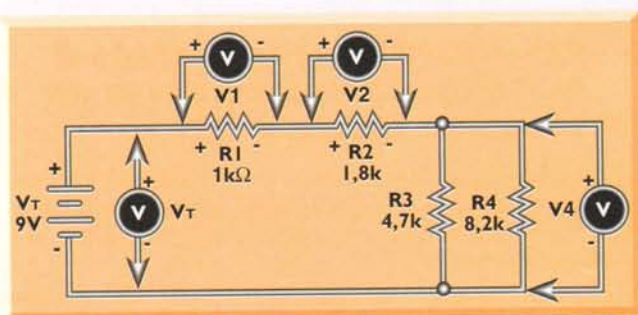


Figura 5.40. Midiendo los voltajes del circuito mixto



21. Configure su multímetro como voltímetro para CC y mida los voltajes del circuito, figura 5.40. En nuestro caso, obtuvimos $V_T = 9,39\text{V}$, $V_1 = 1,62\text{V}$, $V_2 = 2,94\text{V}$ y $V_3 = 4,82\text{V}$. Los valores esperados eran $V_1 = 1,61\text{V}$, $V_2 = 2,94\text{V}$, $V_3 = 4,76\text{V}$ y $V_T = 9,38\text{V}$ ¿Por qué?

22. Calcule la potencia entregada por la fuente y compárela con la suma de las absorbidas por las resistencias. En nuestro caso:

$$\begin{aligned}
 P_T &= V_T \times I_T = 9,39\text{V} \times 1,64\text{mA} = 15,40\text{ mW} \\
 P_1 &= V_1 \times I_T = 1,62\text{V} \times 1,64\text{mA} = 2,66\text{ mW} \\
 P_2 &= V_2 \times I_T = 2,94\text{V} \times 1,64\text{mA} = 4,82\text{ mW} \\
 P_3 &= V_3 \times I_3 = 4,82\text{V} \times 1,03\text{mA} = 4,96\text{ mW} \\
 P_4 &= V_3 \times I_4 = 4,82\text{V} \times 0,59\text{mA} = 2,84\text{ mW} \\
 P_1 + P_2 + P_3 + P_4 &= 15,28\text{ mW} \approx P_T
 \end{aligned}$$

23. Derive sus propias conclusiones a partir de cada uno de los resultados de este experimento. ¿Coinciden con lo que esperaba obtener? ¿Por qué?

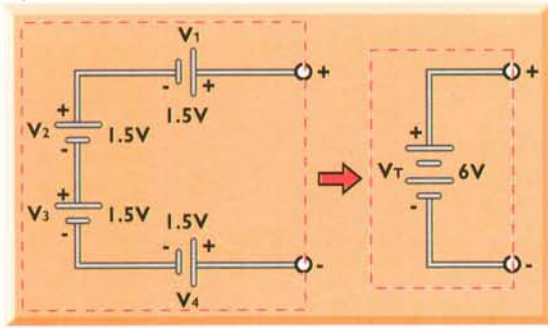


Figura 5.41 Voltaje equivalente de baterías en serie. Todo el conjunto se comporta como una batería de 6V con una capacidad de corriente igual a la de la pila de menor capacidad

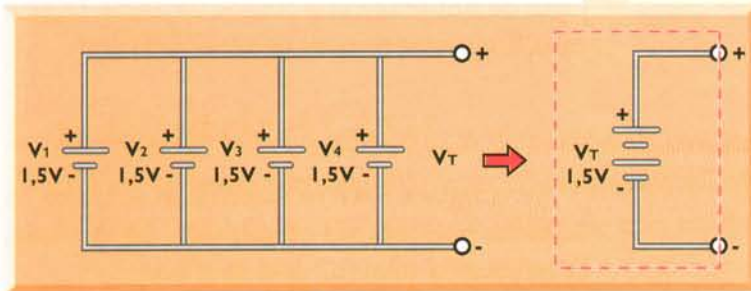


Figura 5.42 Voltaje equivalente de baterías en paralelo. Todo el conjunto se comporta como una batería de 1,5V con una capacidad de corriente igual a la suma de las capacidades de cada pila

Conexión de pilas en serie y en paralelo

Las fuentes de energía eléctrica, como las pilas y las baterías, pueden ser conectadas en serie o en paralelo para aumentar su capacidad de voltaje o de corriente. En la **figura 5.41** se muestra un grupo de **pilas conectadas en serie aditiva**. El voltaje total (V_T) entregado es igual a la suma de los voltajes individuales. Esto es:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

En este modo de conexión se basan las **baterías**, como las utilizadas en los automóviles, las cuales se construyen a partir de varios elementos llamados **celdas** conectados en serie.

En la **figura 5.42** se muestra un grupo de **pilas conectadas en paralelo**. En este caso, el voltaje total (V_T) es igual al voltaje de cada unidad. La capacidad de corriente es igual a la suma de las capacidades individuales de todas las pilas. Esto es:

Figura 5.43 Símbolo de un condensador

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$$

En nuestro caso, cada pila entrega 1,5V. Por tanto, el voltaje resultante es 1,5V. Si cada pila entrega 100 mA, todo el conjunto se comporta como una pila de 1,5V con una capacidad de 4×100 mA, es decir 400 mA. En este modo de conexión se basan las **baterías de refuerzo**, como las que se conectan temporalmente a las baterías «muertas» de los automóviles para encender el motor. Las pilas y baterías se estudian en detalle en la sección Componentes de este curso.

Conexión de condensadores en serie y en paralelo

Los condensadores son componentes que se utilizan para almacenar temporalmente energía eléctrica en forma de voltaje. Están formados por un material aislante, llamado **dieléctrico**, colocado entre dos conductores, llamados **placas**, **figura 5.43**. Los condensadores se identifican por su **capacitancia**, la cual se especifica en **faradios (F)** o submúltiplos, principalmente microfaradios (μF), nanofaradios (nF) y picofaradios (pF).

Los condensadores se pueden conectar en serie o en paralelo para obtener capacidades menores o mayores que la proporcionada por uno solo. En la **figura 5.44** se muestra un conjunto de **con-**

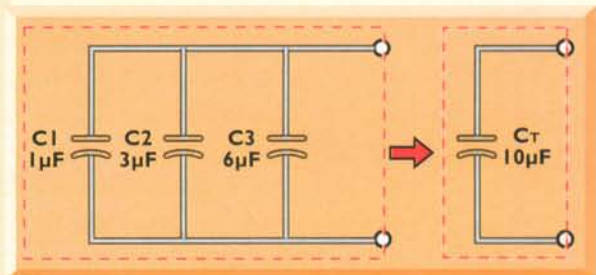


Figura 5.44 Capacitancia equivalente de condensadores en paralelo

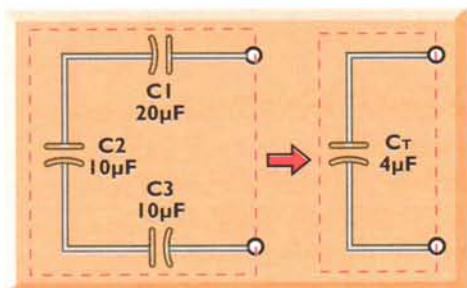


Figura 5.45 Capacitancia equivalente de condensadores en serie

condensadores conectados en paralelo. En este caso, la capacidad total (C_T) está dada por:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

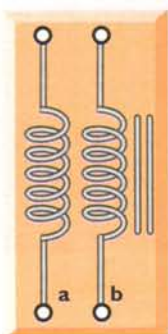
En la **figura 5.45** se muestra un conjunto de **condensadores conectados en serie**. En este caso, la capacidad total (C_T) está dada por:

$$C_T = 1/(1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots)$$

Los condensadores se estudian en detalle en la sección Componentes de este curso.

Conexión de bobinas en serie y en paralelo

Las bobinas son componentes que se utilizan para almacenar temporalmente corriente eléctrica y producir un voltaje cuando cambia la corriente. Están formadas por un alambre enrollado (devanado) alrededor de un núcleo aislante o de material magnético, por ejemplo hierro, **figura 5.46**. Las bobinas se identifican por su **inductancia**, la cual se especifica en **henrios** (H) o submúltiplos, principalmente milihenrios (mH) y microhenrios (μ H).



Las bobinas, al igual que las resistencias y los condensadores, pueden ser conectadas en serie o en paralelo para obtener inductancias mayores o menores que la proporcionada por una sola. En la **figura 5.47** se muestra un con-

Figura 5.46 Símbolo de una bobina con núcleo de aire (a) o hierro (b)

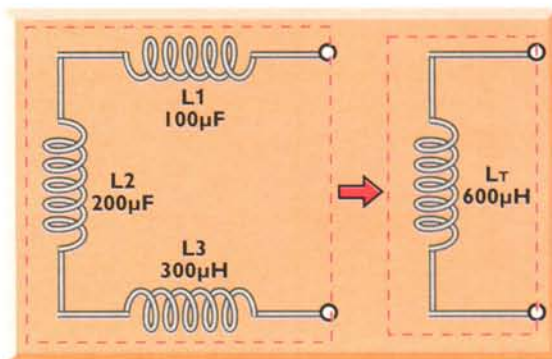


Figura 5.47 Inductancia equivalente de bobinas conectadas en serie

junto de **bobinas conectados en serie**. En este caso, la inductancia total (L_T) está dada por:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

En la **figura 5.47** se muestra un conjunto de **bobinas conectadas en paralelo**. En este caso, la inductancia total (L_T) está dada por:

$$L_T = 1/(1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + \dots)$$

Las formulas anteriores asumen que las bobinas están físicamente distantes y no están **acopladas magnéticamente**, es decir no están construidas sobre el mismo núcleo. También suponen que están devanadas en la misma dirección. En la práctica, la inductancia real obtenida depende de estos factores y de la llamada **inductancia mutua** (L_M), un parámetro que define el grado de acoplamiento magnético entre ellas. Dos o más bobinas acopladas sobre un mismo núcleo constituyen un **transformador**. Las bobinas y los transformadores se estudian en detalle en la sección Componentes de este curso.

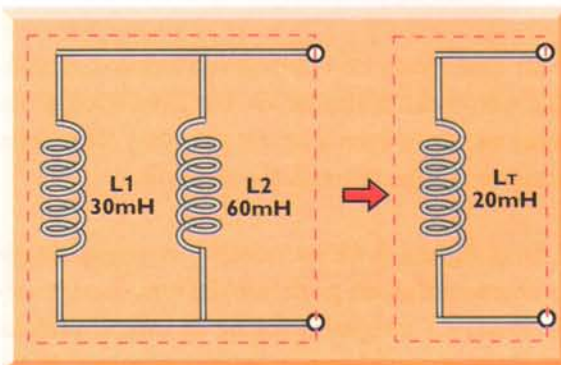
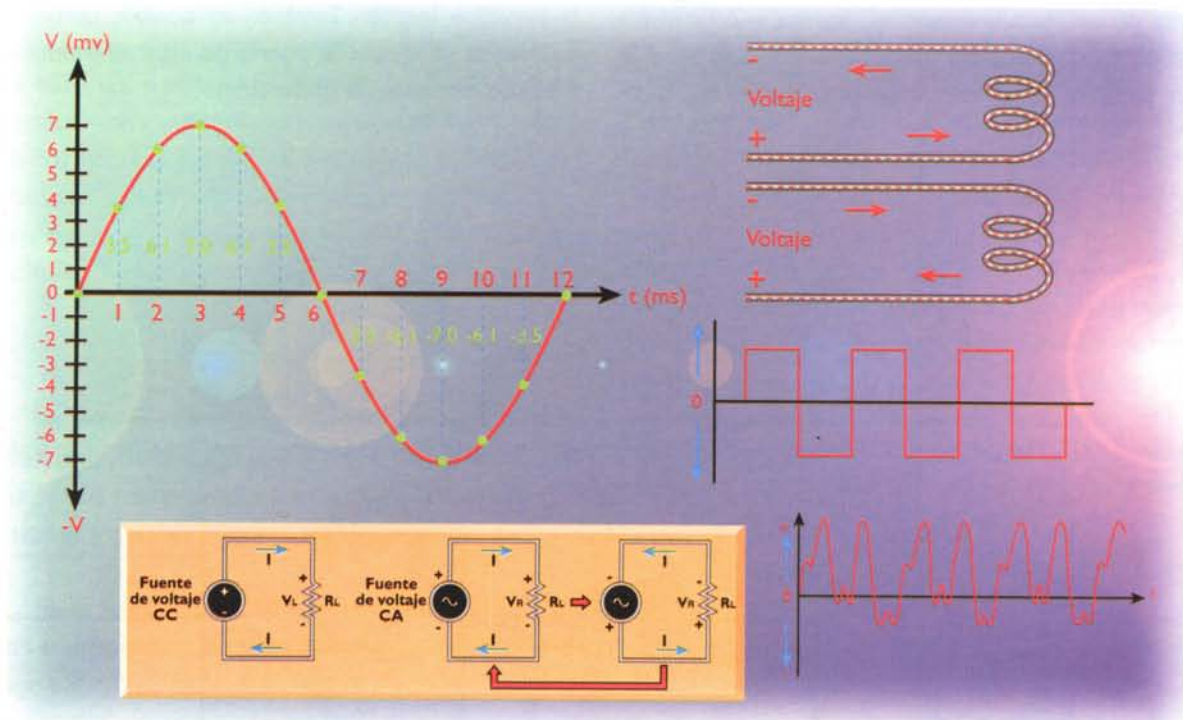


Figura 5.48 Inductancia equivalente de bobinas en paralelo

Lección 6

Conceptos básicos de corriente alterna (CA) y corriente continua (CC)

La polaridad de un voltaje o la dirección de una corriente en cualquier punto de un circuito, puede permanecer invariable o cambiar alternativamente con el tiempo. En el primer caso se habla de una tensión o una corriente continua (CC) y en el segundo de una tensión o una corriente alterna (CA). Ambos tipos de señales son ampliamente utilizadas en los circuitos eléctricos y electrónicos. En esta lección examinaremos sus características generales, haciendo énfasis en las señales alternas senoidales y los voltajes continuos constantes y pulsantes.



Introducción

La **corriente alterna** (CA) y la **corriente continua** (CC), son las dos formas de energía predominantes en los circuitos eléctricos y electrónicos. Cada una afecta de manera diferente la polaridad de los voltajes y la dirección de las corrientes en un circuito. También se diferencian en la forma como varía su valor a medida que transcurre el tiempo.

Las **corrientes continuas** se caracterizan porque circulan siempre en la misma dirección. Las **corrientes alternas**, por su parte, cambian alternativamente, circulando primero en una dirección y luego en la opuesta. Del mismo modo, los **voltajes continuos** se caracterizan porque mantienen siempre la misma polaridad, mientras que los **voltajes alternos** la cambian alternativamente, **figura 6.1**

Los voltajes que suministran las compañías de electricidad a sus usuarios, por ejemplo, son alternos (CA), mientras que los suministrados por las baterías son continuos (CC). En el primer caso, el valor del voltaje cambia con el tiempo siguiendo la forma de una onda seno. Por eso se dice que se trata de un voltaje **senoidal**, **figura 6.2**. En el segundo caso, el voltaje no cambia. Por eso se dice que se trata de un voltaje **constante**. En la prácti-

ca, también se utilizan voltajes y corrientes que varían siguiendo otros patrones. Todos los circuitos que hemos examinado hasta el momento utilizan voltajes y corrientes de CC constantes.

Las corrientes y los voltajes de CA y CC son muy importantes en la práctica. La mayor parte de los productos eléctricos y electrónicos, por ejemplo, televisores, planchas, computadoras, etc., operan con corriente alterna. Así mismo, los motores y transformadores utilizados en muchas máquinas y electrodomésticos necesitan también de corriente alterna para operar. Las señales utilizadas en los sistemas de audio, radio, televisión, etc., para representar voz, música, imágenes y otras formas de información son igualmente alternas.

Sin embargo, todos los circuitos electrónicos, desde el más simple amplificador hasta la más sofisticada computadora, necesitan, en última instancia, de una fuente de corriente continua para operar. Esta corriente puede ser suministrada directamente por una pila o una batería, o derivada de una fuente de corriente alterna a través de un proceso llamado **rectificación**, que estudiaremos en la próxima lección. También es posible convertir corriente continua en corriente alterna mediante un proceso llamado **inversión**.

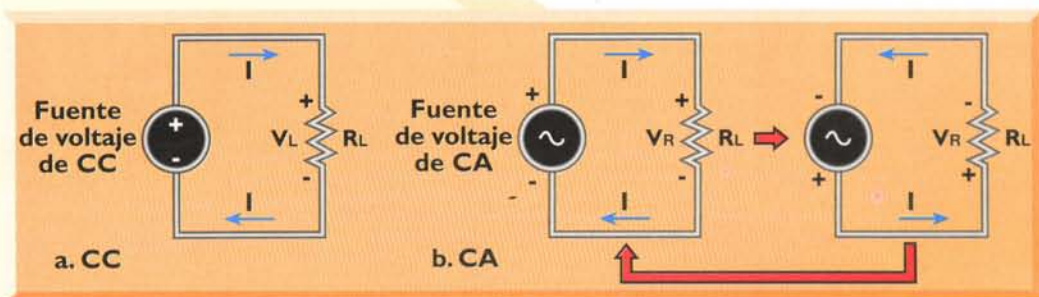


Figura 6.1 En un circuito de CA, la polaridad del voltaje, así como la dirección de la corriente, se alternan o cambian periódicamente, mientras que en un circuito de CC no cambian.

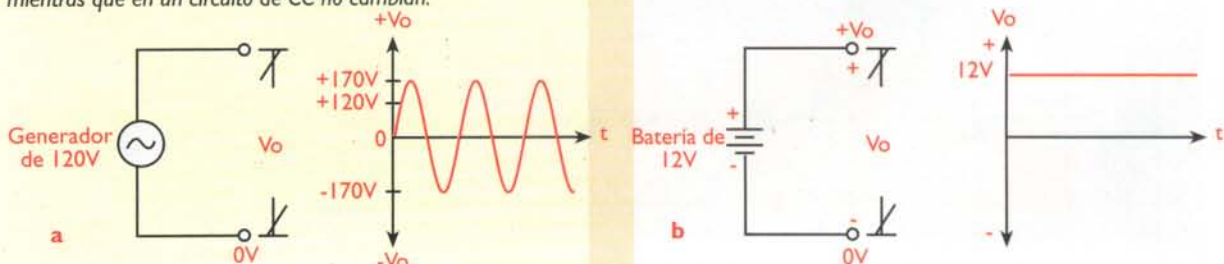


Figura 6.2 Comparación entre un voltaje alterno senoidal (a) y un voltaje continuo ó constante (b).

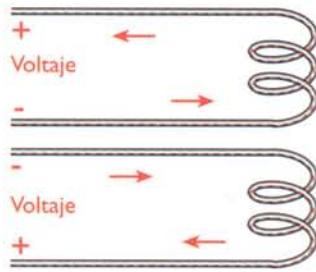


Figura 6.3. Ilustración pictórica del concepto de una corriente alterna

Corriente alterna

La corriente alterna (CA) se produce cuando se alimenta un circuito con una fuente de voltaje cuya polaridad cambia o se alterna con el tiempo. Esto causa que los electrones circulen alternativamente en una dirección y luego en la dirección opuesta, figura 6.3. Además de cambiar de dirección, casi todos los tipos de corrientes alternas cambian también de valor con el tiempo.

La representación gráfica de la manera particular como varía el valor de un voltaje o una corriente con el tiempo se denomina su **forma de onda**. En la figura 6.4 se muestran algunos ejemplos. Cuando la variación sigue la forma de una onda seno, se tiene lo que se denomina una **corriente alterna senoidal** o **sinusoidal**. Este es el tipo de forma de onda de la corriente alterna más común y utilizada. Por esta razón, la examinaremos en detalle.

En todos los casos mostrados en la figura 6.4, sobre el eje horizontal están representados los valores de tiempo (t) y sobre el eje vertical los valores de voltaje (v) o corriente (i). Las porciones de la forma de onda marcadas como (+) y (-) representan una polaridad del voltaje o una dirección de movimiento de la corriente. En la figura 6.5 se muestran algunos valores que adopta una onda seno de voltaje particular, en instantes de tiempo específicos.

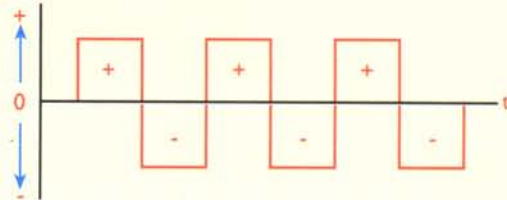
Concepto de ciclo. Valores angulares

La mayoría de corrientes y tensiones alternas de interés práctico son **periódicas**, es decir sus formas de onda tienen un patrón regular que se repite exactamente de la misma forma cada cierto tiem-

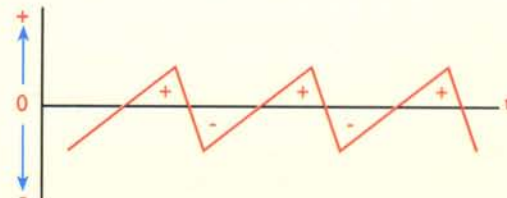
po. El patrón de una forma de onda que se repite periódicamente se denomina un **ciclo**. En la figura 6.6, por ejemplo, se muestra un ciclo de una forma de onda senoidal.

Observe que, durante una alternancia o semiciclo (medio ciclo) de la onda, la corriente aumenta desde cero hasta un valor máximo, y posteriormente regresa a cero. A partir de entonces, la corriente empieza a aumentar otra vez, pero en dirección opuesta, hasta alcanzar un valor máximo y luego disminuye a cero. De esta forma se completa un **ciclo**. El proceso se repite indefinidamente.

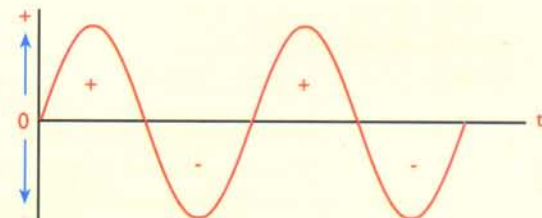
En general, un ciclo incluye las variaciones entre cualquier par de puntos sucesivos de una forma de



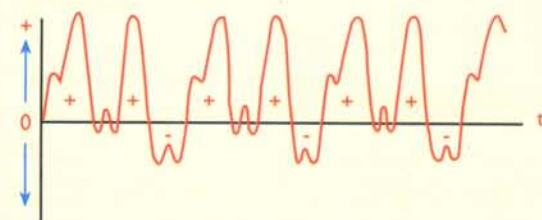
a. Corriente alterna cuadrada



b. Corriente alterna triangular



c. Corriente alterna senoidal



d. Corriente alterna compleja

Figura 6.4 Formas de onda de corrientes alternas

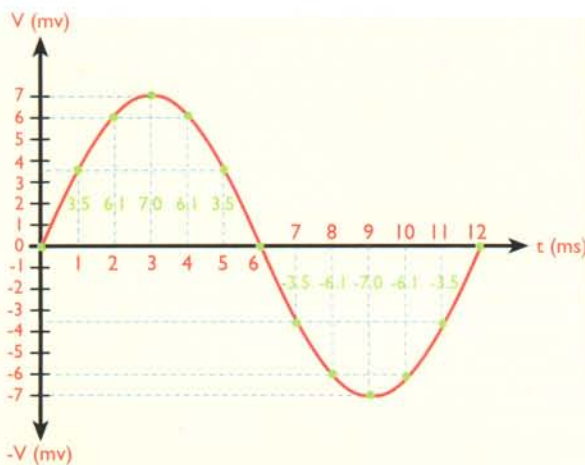


Figura 6.5. Valores particulares de voltaje en una onda seno para algunos valores de tiempo



Figura 6.6 Ciclo de una forma de onda senoidal. Las corrientes y voltajes senoidales son las formas de onda que más se presentan y más se utilizan en los circuitos eléctricos y electrónicos.

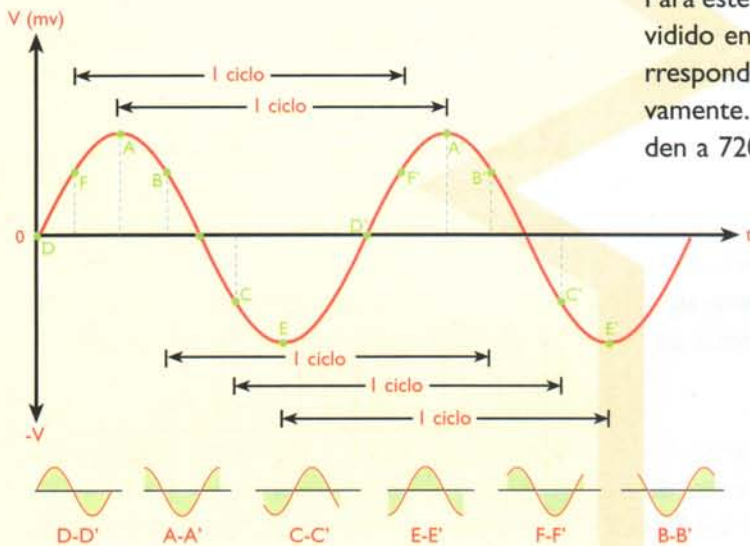


Figura 6.7. Distintas formas de considerar un ciclo de una forma de onda seno

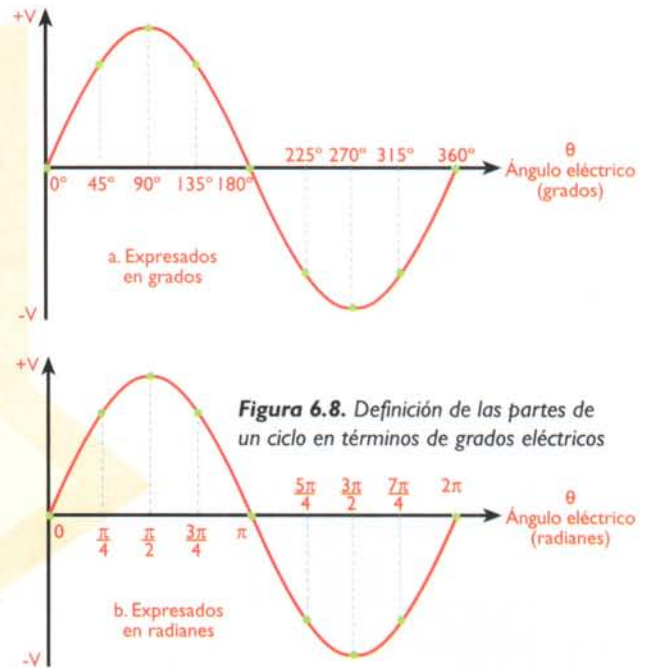


Figura 6.8. Definición de las partes de un ciclo en términos de grados eléctricos

onda periódica que tienen el mismo valor y que varían en el mismo sentido. En la figura 6.7 se ilustra este concepto. Todos los patrones mostrados se repiten exactamente una y otra vez para constituir la onda seno. Lo mismo se aplica a cualquier otra forma de onda periódica.

En muchas situaciones es conveniente considerar los diferentes puntos de un ciclo como ángulos. Para este efecto, un ciclo completo se considera dividido en 360°. Por tanto, la mitad de un ciclo corresponde a 180°, la cuarta parte a 90°, y así sucesivamente. Del mismo modo, dos ciclos corresponden a 720°, tres ciclos y medio a 1.260°, etc. En la figura 6.8 se ilustran estos conceptos.

Los ángulos se pueden también expresar en **radianes** (rad), siendo un radian equivalente a 57.3°. Desde este punto de vista, un ciclo completo (360°) corresponde a 2π radianes, medio ciclo a π radianes, un cuarto de ciclo a π/2 radianes, dos ciclos a 4π radianes, y así sucesivamente, figura 6.8(b). Recuerde que la constante π (léase pi) es aproximadamente igual a 3,1416.

Ángulo (θ)		Sen θ
Grados ($^{\circ}$)	Radianes (rad)	
0	0	0
30	$\pi/6$	0,5
45	$\pi/4$	0,707
60	$\pi/3$	0,866
90	$\pi/2$	1,0
180	π	0
270	$3\pi/2$	-1,0
360	2π	0

Figura 6.9. Valores del seno de ángulos importantes

Cuando trabaje con grados y radianes, tenga en cuenta las siguientes reglas de conversión:

1. Para convertir grados en radianes, multiplique por π (3,1416) y divida por 180. Esto es:

$$\text{Ángulo en radianes} = (\text{Ángulo en grados} \times \pi) \div 180$$

2. Para convertir radianes en grados, multiplique por 180 y divida por π (3,1416). Esto es:

$$\text{Ángulo en grados} = (\text{Ángulo en radianes} \times 180) \div \pi$$

Por ejemplo, 30° corresponden a $30\pi/180$ radianes, es decir $\pi/6$ ó 0,52 rad. Del mismo modo, 1,5 rad corresponden a $1,5 \times 180/\pi$ grados, es decir 30° .

En general, la magnitud de la corriente o el voltaje de una onda seno para un ángulo cualquiera es proporcional al **seno** de ese ángulo. En el caso de las ondas de la **figura 6.8**, esta magnitud es cero para 0° , máxima positiva para 90° ($\pi/2$), cero para

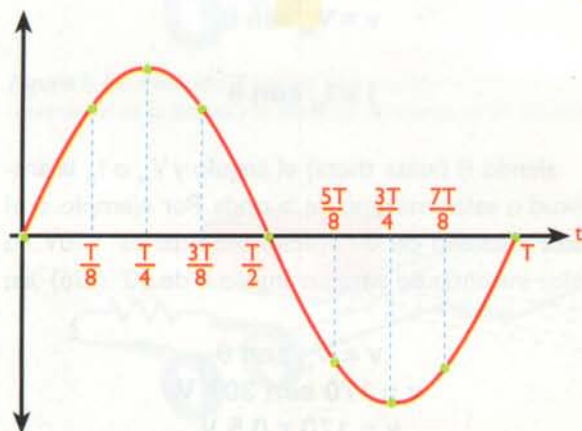


Figura 6.10. Definición de las partes de un ciclo en términos de fracciones de período

180° (π), máxima negativa para 270° ($3\pi/2$), cero para 360° (2π), y así sucesivamente. La función seno se comporta de la misma manera: vale 0 para 0° y 180° , +1 para 90° y -1 para 270° , **figura 6.9**.

Concepto de periodo

El tiempo que dura un ciclo de una corriente o una tensión alterna define el **período** (T) de la onda. El período se mide en **segundos** (s). También es común el uso de submúltiplos, como el milisegundo (ms), el microsegundo (μ s) y el nanosegundo (ns). Un ciclo corresponde a T segundos, medio ciclo a T/2, un cuarto de ciclo a T/4, y así sucesivamente, **figura 6.10**.

Concepto de frecuencia

El número de ciclos de una corriente o una tensión alterna que ocurren o se repiten en un segundo, define la **frecuencia** (f) de la onda, **figura 6.11**. La unidad de medida de la frecuen

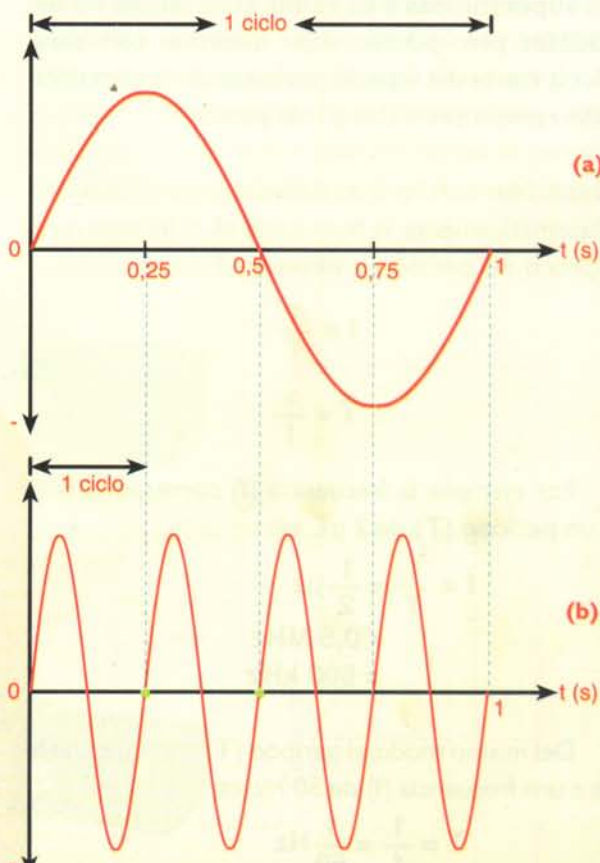


Figura 6.11 El número de ciclos por segundo de una forma de onda define su frecuencia. En (a) se muestra una onda seno de 1 Hz y en (b) una onda seno de 4 Hz

cia es el **hertz** o **hertzio (Hz)**, denominado así en honor del físico alemán **Heinrich Hertz** (1857-1894), descubridor de las ondas de radio. También es común el uso de múltiplos como el kilohertz (kHz), el megahertz (MHz) y el gigahertz (GHz). Un kilohertz, por ejemplo, equivale a mil hertz (1 kHz = 1.000 Hz = 10³Hz).

Las corrientes alternas con frecuencias desde 20 Hz hasta unos 20 kHz se denominan **señales de audio**. Este nombre se debe a que producen sonidos audibles cuando se reproducen en un parlante. Las corrientes alternas con frecuencias por encima de 20kHz, por su parte, se denominan señales **supersónicas** o de **radio**. Estas señales no son audibles, pero pueden viajar distancias considerables a través del espacio, permitiendo la comunicación remota entre dos o más puntos.

Relación entre frecuencia y período

Matemáticamente, la frecuencia es el inverso o recíproco del período, y viceversa. Esto es:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

Por ejemplo, la frecuencia (**f**) correspondiente a un período (**T**) de 2 µs, es:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{2} \mu s \\ &= 0,5 \text{ MHz} \\ &= 500 \text{ kHz} \end{aligned}$$

Del mismo modo, el período (**T**) correspondiente a una frecuencia (**f**) de 50 Hz, es:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{f} = \frac{1}{50} \text{ Hz} \\ &= 0,02 \text{ s} \\ &= 20 \text{ ms} \end{aligned}$$

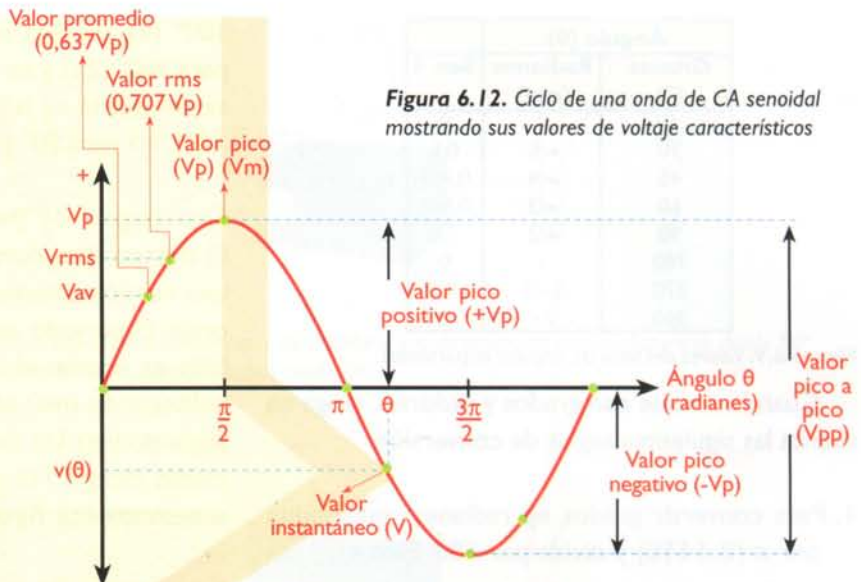


Figura 6.12. Ciclo de una onda de CA senoidal mostrando sus valores de voltaje característicos

Valores de una onda seno

En un ciclo de una onda seno de voltaje o corriente alterna se distinguen varios valores característicos, los cuales permiten comparar una forma de onda con otra y describir su comportamiento en términos cuantitativos. Los más importantes son el valor instantáneo, el valor pico, el valor pico a pico, el valor promedio y el valor efectivo o rms, figura 6.12.

Concepto de valor instantáneo

El **valor instantáneo**, como su nombre lo indica, es el valor de voltaje o corriente que tiene la onda en cualquier instante de tiempo. Este valor, que designaremos como **v** o **i** (en minúsculas), es proporcional al seno del ángulo correspondiente al instante considerado. Esto es:

$$v = V_M \text{ sen } \theta$$

$$i = I_M \text{ sen } \theta$$

siendo θ (léase theta) el ángulo y V_M o I_M la amplitud o valor máximo de la onda. Por ejemplo, si el valor máximo de un voltaje senoidal es 170V, su valor instantáneo para un ángulo θ de 30° ($\pi/6$) es:

$$\begin{aligned} v &= V_M \text{ sen } \theta \\ v &= 170 \text{ sen } 30^\circ \text{ V} \\ v &= 170 \times 0,5 \text{ V} \\ v &= 85 \text{ V} \end{aligned}$$

Concepto de valor pico y de valor pico a pico

El **valor pico**, que designaremos como I_p o V_p , es el máximo valor positivo o negativo que alcanza la onda. En el ejemplo anterior, la onda tiene un valor pico positivo de +170V y un valor pico negativo de -170V. La magnitud absoluta del valor pico se conoce también como **amplitud**. En nuestro caso, la amplitud de la onda (V_M) es simplemente 170 V. En general, para una onda seno pura, la magnitud del valor pico positivo es igual a la del valor pico negativo. Sin embargo, éste no es el caso general, **figura 6.13**.

El **valor pico a pico**, que designaremos como I_{pp} o V_{pp} , es la amplitud neta de la onda desde el pico positivo hasta el pico negativo. En otras palabras, es la suma de los valores pico absolutos. En nuestro caso, la onda tiene un valor pico a pico de 170V+170V, es decir 340V. En general, para una onda seno pura, el valor pico a pico es siempre el doble del valor pico. Lo mismo sucede con otras formas de onda, pero no es el caso general.

Concepto de valor promedio

El **valor promedio**, que designaremos como I_{av} o V_{av} , es el promedio aritmético de todos los valores instantáneos que tiene una onda durante un

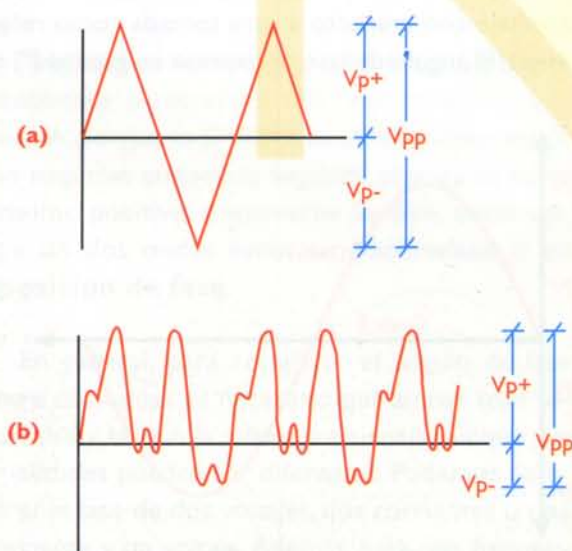


Figura 6.13. Formas de onda alterna no senoidales que tienen valores pico iguales (a) y diferentes (b)

semiciclo. En el caso de una onda seno pura, el valor promedio está dado por:

$$\text{Valor promedio} = 0,637 \times \text{valor pico}$$

$$V_{av} = 0,637V_p$$

En nuestro caso, la onda tiene un valor pico de 170V. Por tanto, su valor promedio es $0,637 \times 170$ V, es decir 108,29 V.

Concepto de valor efectivo o rms.

Definición de factor de forma

El **valor efectivo, eficaz o rms** de una onda seno, que designaremos como V_{rms} o I_{rms} , o simplemente como **V** o **I** (en mayúsculas), es el valor de voltaje o corriente continua (CC) que produce sobre una resistencia la misma disipación de potencia que la onda. Se obtiene extrayendo la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de todos los valores instantáneos que adopta la onda durante un ciclo, de donde se deriva el nombre de **rms** (*root-mean-square*: raíz media cuadrática). En el caso de una onda seno pura, el valor rms o efectivo está dado por:

$$\text{Valor rms} = 0,707 \times \text{valor pico}$$

$$V_{rms} = 0,707 \times V_p = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

$$I_{rms} = 0,707 \times I_p = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

En nuestro caso, la onda de CA tiene un valor pico de 170V. Por tanto, su valor efectivo o rms es $0,707 \times 170$ V, es decir 120V, aproximadamente. Esto significa que cuando la onda de CA alimenta una resistencia, produce en ella la misma disipación de potencia que un voltaje de CC de 120 V. Este concepto se ilustra en la **figura 6.14**.

En este caso, la carga, representada por una resistencia de 96Ω , se alimenta primero con una fuente de voltaje CA de 120V rms, produciéndose una corriente de 1,25 A rms, **figura 6.14b**. A continuación, la misma carga se alimenta desde una fuente de voltaje de CC en serie con una resistencia variable, **figura 6.14c**. Esta última se ajusta entonces hasta que la lectura en el amperímetro sea también de 1,25 A. Bajo

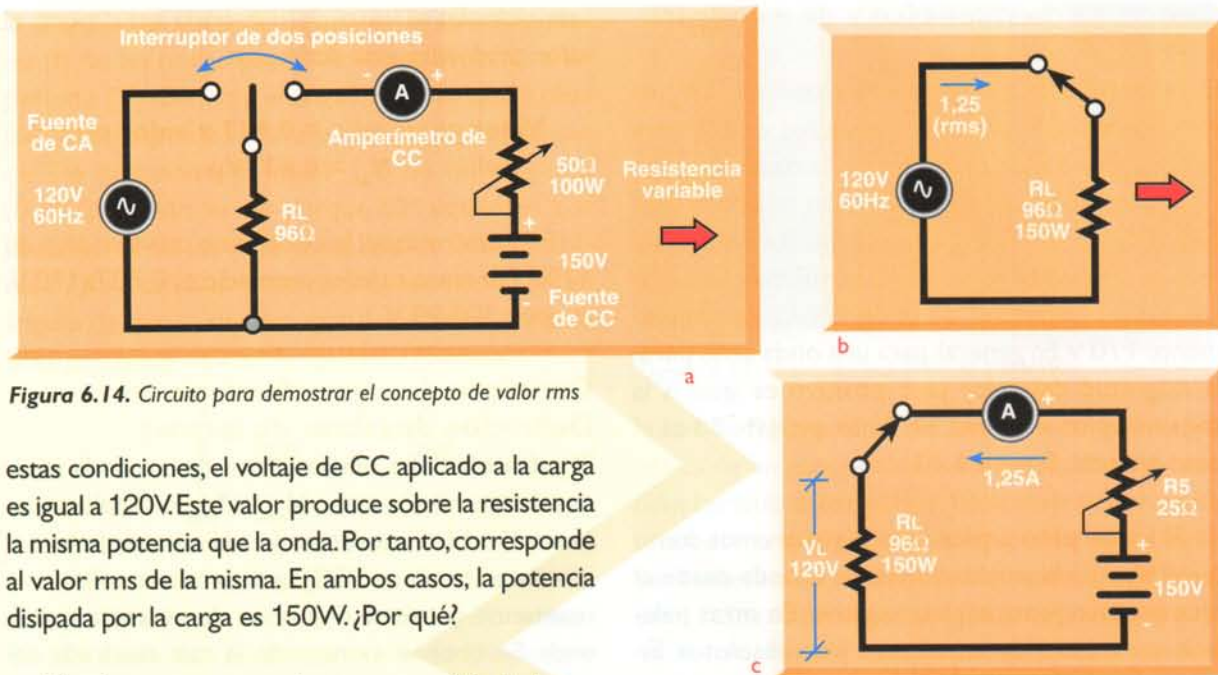


Figura 6.14. Circuito para demostrar el concepto de valor rms

estas condiciones, el voltaje de CC aplicado a la carga es igual a 120V. Este valor produce sobre la resistencia la misma potencia que la onda. Por tanto, corresponde al valor rms de la misma. En ambos casos, la potencia disipada por la carga es 150W. ¿Por qué?

El valor rms proporciona una medida de la capacidad de una forma de onda cualquiera de voltaje o de corriente para producir potencia. Por esta razón, la magnitud de los voltajes y las corrientes alternas senoidales se especifica comúnmente utilizando valores rms. Además, al expresar estas cantidades en valores rms, los circuitos de corriente alterna pueden ser analizados mediante las mismas técnicas empleadas para analizar circuitos de corriente continua. Por otra parte, la lectura de los instrumentos que miden voltajes y corrientes alternas está calibrada en términos de valores rms.

En general, siempre que se diga que un voltaje o una corriente alterna tiene un valor determinado, digamos 12V o 3A, se sobreentiende que se trata del valor rms, a menos que se especifique otra cosa. Para indicar valores rms utilizaremos siempre letras mayúsculas, por ejemplo I , V , I_2 , V_3 , etc.

La relación entre el valor rms y el valor promedio de una forma de onda cualquiera se denomina **factor de forma (FF)**. En el caso de una onda seno pura, el factor de forma está dado por:

factor de forma = valor rms ÷ valor promedio

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{av}} = \frac{0,707V_p}{0,37V_p} = 1,11$$

Por tanto, cualquier corriente o voltaje alterno senoidal tiene un factor de forma de **1,11**. En la **figura 6.15** se ilustra este concepto. Aquí, las ondas A y B son de amplitudes diferentes, pero tienen el mismo factor de forma por ser ambas senoidales.

Concepto de ángulo de fase. Relaciones de tiempo de ondas seno

El **ángulo de fase** se refiere al atraso o adelanto que experimenta una onda senoidal de corriente o voltaje con respecto a otra tomada como referencia. El ángulo de fase se expresa en grados ($^\circ$) o

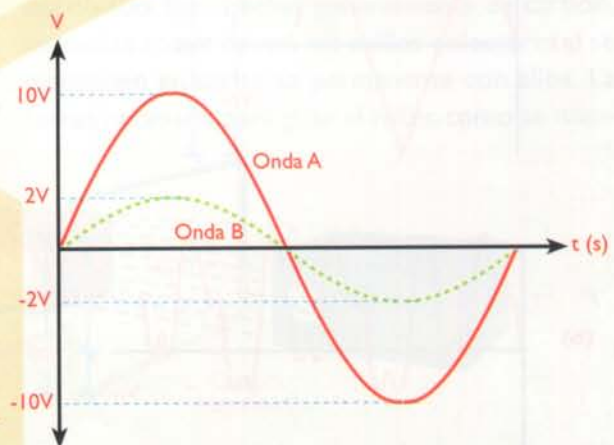


Figura 6.15. Dos formas de onda con diferente amplitud. Ambas son ondas seno y tienen el mismo factor de forma. Además, son de la misma frecuencia y están en fase

radianes (rad) y puede adoptar cualquier valor entre 0° (0 rad) y 180° (π rad). En la **figura 6.16** se muestran algunos ejemplos. El concepto de ángulo de fase es muy importante para el análisis y diseño de circuitos eléctricos y electrónicos.

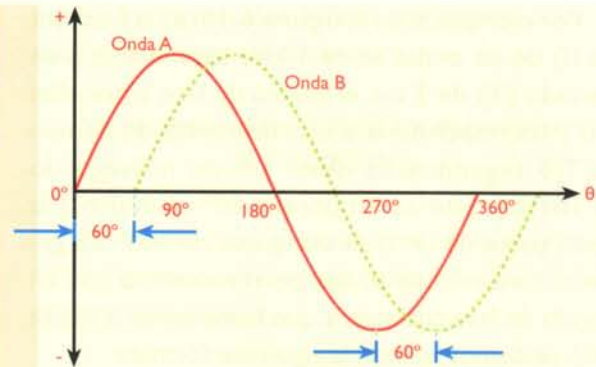
En la **figura 6.16a**, por ejemplo, la onda B está retrasada 60° con respecto a la onda A, porque la primera alcanza su valor máximo, positivo o negativo, 60° después que la segunda. En otras palabras, el ángulo de fase entre las dos señales es de 60° . Note que si se toma la onda B como referencia, entonces la onda A estaría adelantada 60° . ¿Por qué?

En la **figura 6.16b**, la onda B está adelantada 90° con respecto a la onda A porque la primera alcanza su valor máximo positivo o negativo cuando la segunda es cero, y viceversa. Se dice, entonces, que las dos ondas están en **cuadratura de fase**. Note que si se toma la onda B como referencia, entonces la onda A estaría retrasada 90° . ¿Por qué?

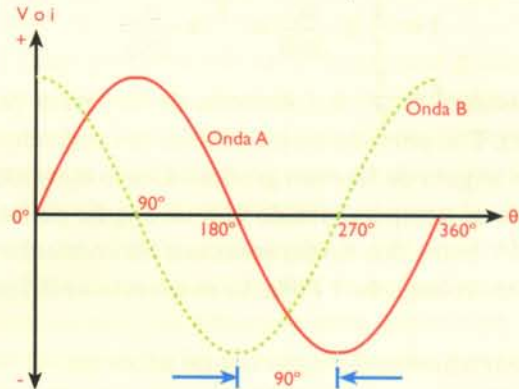
En la **figura 6.16c**, la onda B no está adelantada ni retrasada con respecto a la onda A, tomada como referencia, porque ambas alcanzan su valor máximo, positivo o negativo, al mismo tiempo. Se dice, entonces, que las dos ondas están **en fase**, es decir su ángulo de fase es 0° .

Finalmente, en la **figura 6.16d**, la onda B está adelantada o retrasada 180° con respecto a la onda A, porque la primera alcanza su valor máximo negativo cuando la segunda alcanza su valor máximo positivo, y viceversa. Se dice, entonces, que las dos ondas están en **contrafase** o en **oposición de fase**.

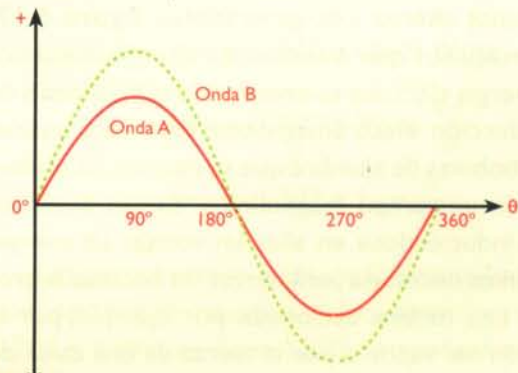
En general, para comparar el ángulo de fase entre dos ondas, es necesario que ambas sean senoidales y tengan la misma frecuencia, aunque sus amplitudes pueden ser diferentes. Podemos comparar la fase de dos voltajes, dos corrientes o una corriente y un voltaje. Además, para una frecuencia dada, el ángulo de fase corresponde a una diferencia específica de tiempo.



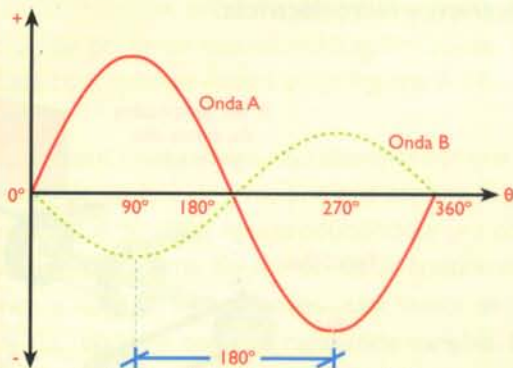
a. La onda B está retrasada 60° con respecto a la onda A.



b. La onda B está en cuadratura o adelantada 90° con respecto a la onda A.



c. La onda B está en fase (0°) con respecto a la onda A.



d. Las ondas B y A están 180 grados fuera de fase.

Figura 6.16. Ejemplos de ángulos de fase entre dos ondas seno

Por ejemplo, si en la **figura 6.16(a)** la frecuencia (**f**) de las ondas es de 1 kHz, equivalente a un período (**T**) de 1 ms, el ángulo de fase entre ellas (60°) correspondería a una diferencia de tiempo de $T/6$ segundos, es decir $1/6$ de milisegundo ($0,167\mu s$). Esto es así porque 60° equivalen a la sexta parte de un ciclo completo de 360° . En general, para calcular el tiempo (**t**) asociado con un ángulo de fase cualquiera, que llamaremos α (leáse alfa), podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$t = \frac{1}{f} \times \frac{\alpha}{360} = T \times \frac{\alpha}{360}$$

siendo $f = \frac{1}{T}$ la frecuencia de las ondas (en hertz), **T** el período de las mismas (en segundos) y α el ángulo de fase (en grados). Como ejercicio, calcule el tiempo asociado con un ángulo de fase de 36° entre dos ondas seno, una de corriente y otra de voltaje, de 1 MHz. La respuesta es $0,1\mu s$.

Generadores de corriente alterna

Actualmente, más del 95% de la energía eléctrica mundial se suministra mediante **generadores** de corriente alterna. Los generadores, **figura 6.17**, son máquinas que transforman energía mecánica en energía eléctrica aprovechando el fenómeno de la inducción electromagnética. Para ello, utilizan unas bobinas de alambre que se mueven en el interior de un campo magnético y cortan líneas de flujo, induciéndose en ellas un voltaje. La energía mecánica necesaria para mover las bobinas la produce una turbina accionada, por ejemplo, por la presión del vapor o por la fuerza de una caída de agua. En estos principios se basan las centrales termoeléctricas e hidroeléctricas.



Figura 6.17. Alternador industrial de 300MW

En la **figura 6.18** se muestra la estructura básica de un generador de corriente alterna, también llamado **alternador**. Básicamente consta de una bobina que gira entre los polos de un imán permanente. La bobina se denomina **inducido** y está colocada sobre un cilindro, generalmente de hierro, llamado **armadura**. El conjunto formado por el inducido y la armadura se conoce como **rotor**, porque es el elemento rotatorio de la máquina. Los imanes, encargados de producir el campo magnético, constituyen el **estator** o parte estacionaria. Los extremos de la bobina están conectados a un par de **anillos colectores**, que constituyen los terminales de salida primarios del generador.

Los anillos colectores están aislados entre sí y del eje de la armadura, sobre el cual giran. Por esta razón, para llevar el voltaje de salida del generador hacia el mundo externo, se necesitan un par de **escobillas** fijas, hechas generalmente de carbón, las cuales rozan contra los anillos colectores y se mantienen en contacto permanente con ellos. La fuerza necesaria para girar el rotor, como se men-

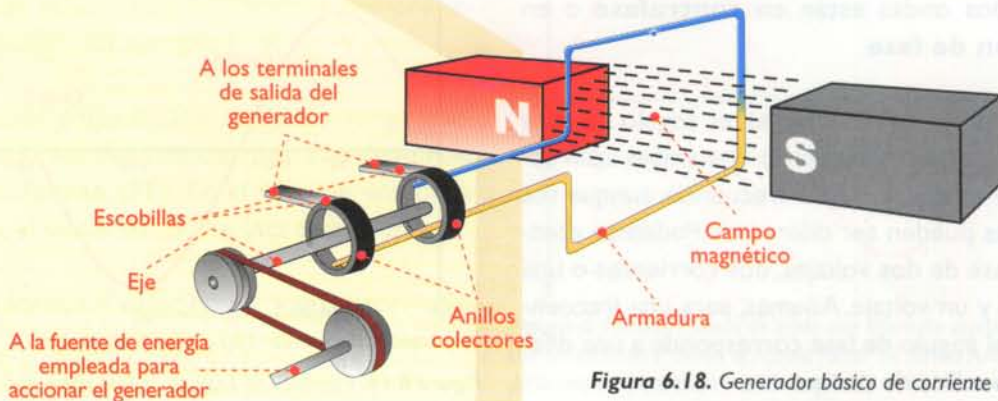


Figura 6.18. Generador básico de corriente alterna

cionó anteriormente, la proporciona un agente externo. El valor instantáneo del voltaje de salida depende básicamente de tres factores:

1. La **densidad** o cantidad de líneas de flujo por unidad de área del campo magnético a través del cual se mueve la bobina.
2. La velocidad de rotación de la bobina.
3. El ángulo con el cual la bobina corta las líneas de flujo.

En general, entre mayor sea la densidad de flujo o la velocidad de movimiento, mayor será el valor del voltaje inducido, y viceversa. En cualquier caso, el voltaje de salida es máximo cuando el ángulo de corte es de 90° y mínimo cuando es de 0° .

Cada giro completo de 360° de la bobina produce un ciclo completo de 360° del voltaje de salida, el cual tiene una forma de onda senoidal. En la secuencia de las **figuras 6.19** hasta la **6.23** se ilustra como sucede esto.

En la posición 1, **figura 6.19**, el plano o área transversal de la bobina es perpendicular a la dirección del campo magnético y por tanto no cor-

ta líneas de flujo. Como resultado, el voltaje de salida es 0. Esto se debe a que el ángulo entre la dirección del campo y la dirección del movimiento de la bobina (conductor oscuro) es 0° .

A medida que la bobina se desplaza desde la posición 1 hasta la posición 2, **figura 6.20**, el ángulo entre la dirección de movimiento de la misma y la dirección del campo aumenta desde 0° hasta 90° , cortando cada vez más líneas de flujo por segundo. Como resultado, el voltaje de salida aumenta desde 0V hasta su valor máximo positivo. Este último se alcanza cuando la dirección del campo es paralela al plano de la bobina, es decir forma un ángulo de 90° con la dirección de movimiento de la misma. Hasta aquí tenemos un cuarto de ciclo.

A medida que la bobina se desplaza desde la posición 2 hasta la posición 3, **figura 6.21**, el ángulo entre la dirección de movimiento de la misma y la dirección del campo disminuye desde 90° hasta 0° , cortando cada vez menos líneas de flujo por segundo. Como resultado, el voltaje de salida disminuye desde su valor máximo positivo hasta 0V. Este último valor se alcanza cuando la dirección del campo es perpendicular al plano de la bobina, es decir forma un ángulo

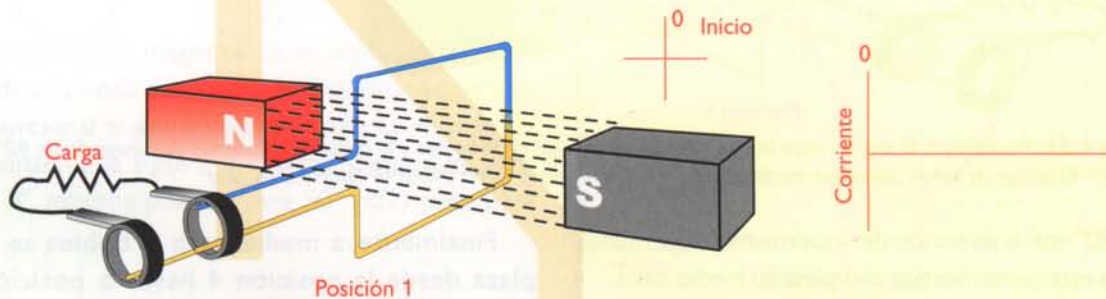


Figura 6.19. Posición 1 (inicial) para analizar el funcionamiento del generador básico de CA. El ángulo entre la dirección de movimiento de la bobina y la dirección del campo es 0° . El voltaje de salida es 0

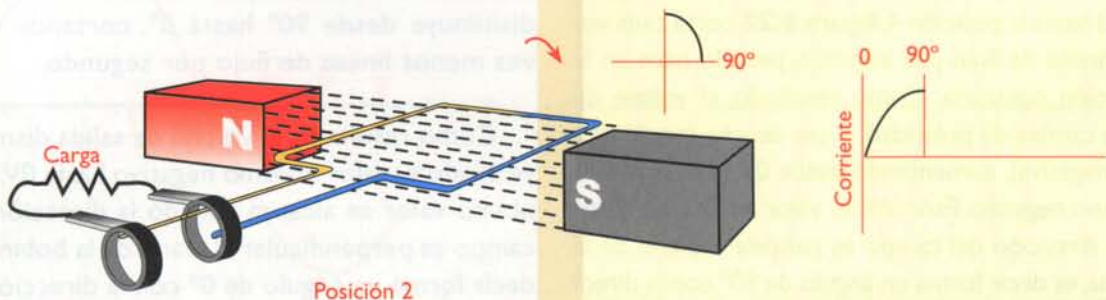


Figura 6.20. Posición 2. El ángulo entre la dirección de movimiento de la bobina y la dirección del campo aumenta desde 0° hasta 90° . El voltaje de salida varía desde 0V hasta su valor máximo positivo

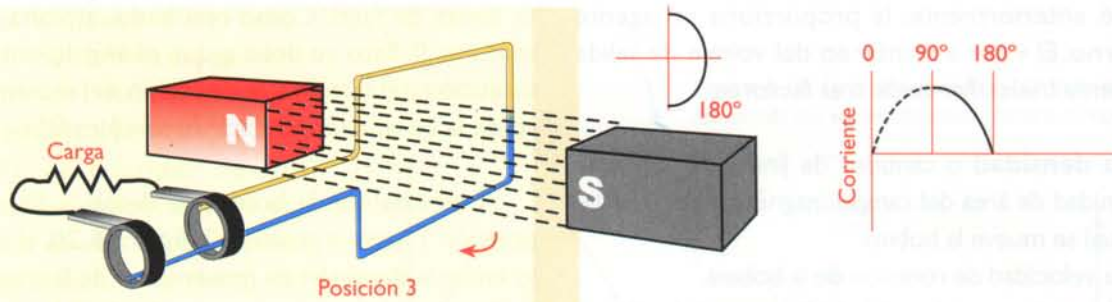


Figura 6.21. Posición 3. El ángulo entre la dirección del movimiento de la bobina y la dirección del campo disminuye desde 90° hasta 0° . El voltaje de salida disminuye desde su valor máximo positivo hasta 0V

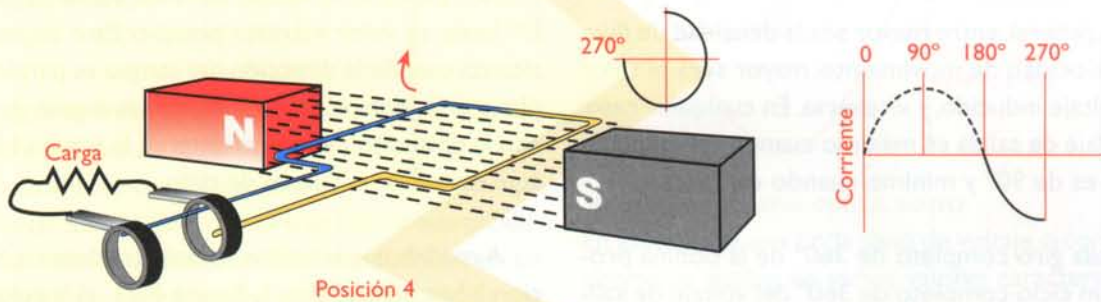


Figura 6.22. Posición 4. El ángulo entre la dirección de movimiento de la bobina y la dirección del campo aumenta desde 0° hasta 90° , pero el corte de las líneas de fuerza se efectúa en sentido contrario. El voltaje de salida cambia de polaridad, aumentando desde 0V hasta su valor máximo negativo

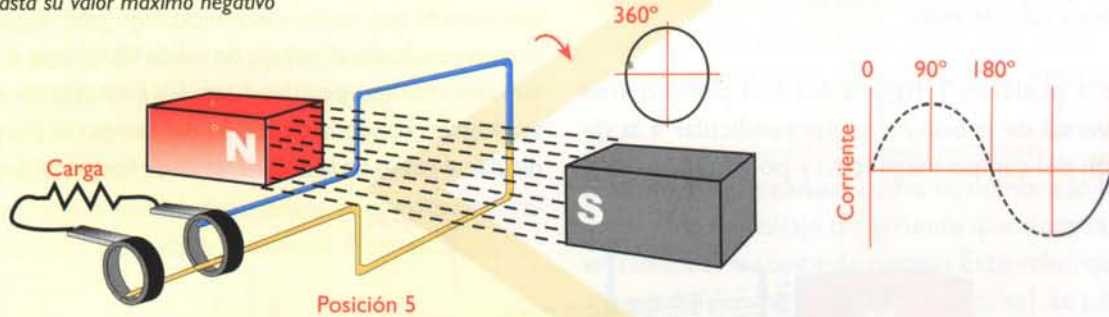


Figura 6.23. Posición 5. El ángulo entre la dirección de movimiento de la bobina y la dirección del campo disminuye desde 90° hasta 0° . El voltaje de salida disminuye desde su valor máximo negativo hasta 0V. Así se completa un ciclo

de 180° con la dirección del movimiento de la misma. Hasta este punto hemos completado medio ciclo.

A medida que la bobina se desplaza desde la posición 3 hasta la posición 4, **figura 6.22**, corta cada vez más líneas de flujo por segundo, pero lo hace en la dirección contraria. Como resultado, el voltaje de salida cambia de polaridad, o sea de «+» (positiva) a «-» (negativa), aumentando desde 0V hasta su valor máximo negativo. Este último valor se alcanza cuando la dirección del campo es paralela al plano de la bobina, es decir forma un ángulo de 90° con la dirección del movimiento de la misma. Hasta aquí, se han completado tres cuartos de ciclo de la onda.

Finalmente, a medida que la bobina se desplaza desde la posición 4 hasta la posición 5, **figura 6.23**, el ángulo entre la dirección de movimiento de la misma y la dirección del campo disminuye desde 90° hasta 0° , cortando cada vez menos líneas de flujo por segundo.

Como resultado, el voltaje de salida disminuye desde su valor máximo negativo hasta 0V. Este último valor se alcanza cuando la dirección del campo es perpendicular al plano de la bobina, es decir forma un ángulo de 0° con la dirección de movimiento de la misma. Hasta este punto hemos completado un ciclo. El proceso se repite.

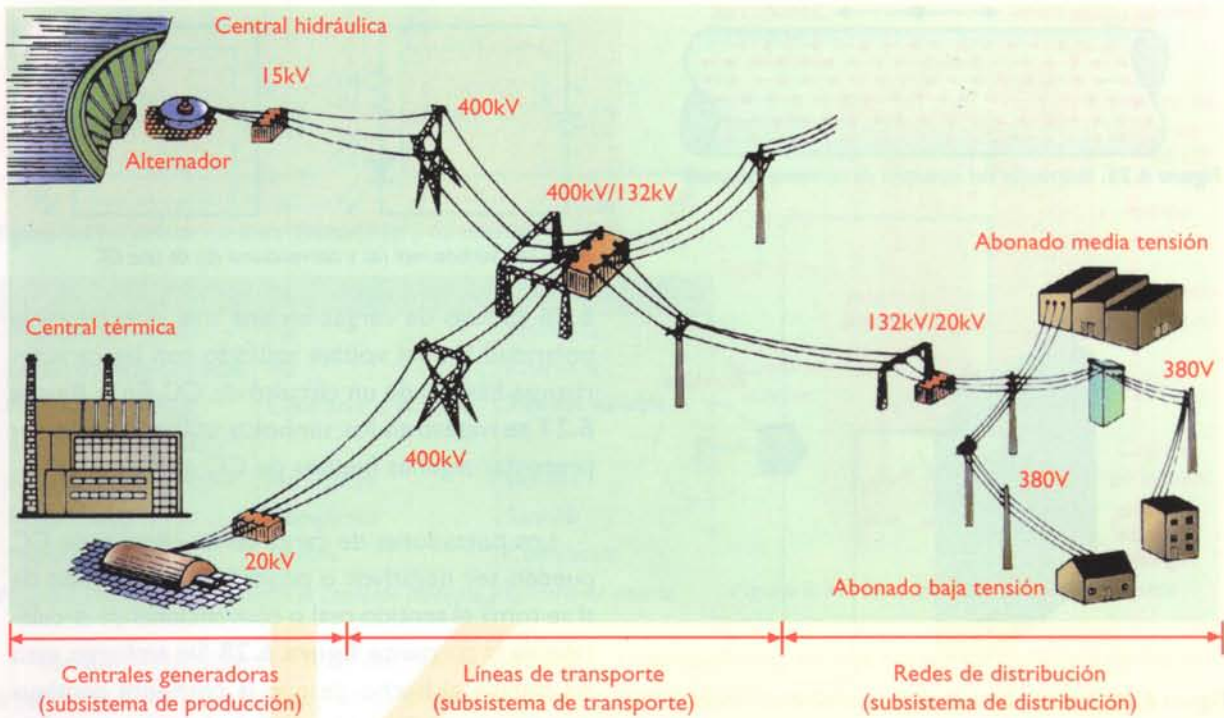


Figura 6.24. Estructura típica de un sistema de generación, transporte y distribución de corriente alterna en un país

En la práctica, el voltaje inducido en una sola espira de alambre es muy pequeño. Por esta razón, para producir voltajes razonables, se utilizan una gran cantidad de espiras conectadas en serie. Estas espiras se dividen físicamente entre varias bobinas, las cuales se colocan en ranuras distribuidas a lo largo de la superficie del rotor. Además, en lugar de un solo par de polos magnéticos se utilizan varios pares. De este modo, durante un giro completo del rotor no se produce un solo ciclo sino muchos ciclos. Estos polos pueden ser también producidos por electroimanes, llamados **devanados** o **bobinas de campo**.

También se dispone de **alternadores de campo rotatorio**, en los cuales las bobinas del inducido o armadura están alojadas en el estator, permaneciendo estacionarias, mientras que las bobinas de campo están en el rotor, enrolladas alrededor de piezas polares y conectadas a los anillos colectores. De este modo se crea un campo magnético rotatorio, el cual induce un voltaje alterno en las bobinas del estator. Este tipo de generadores se utilizan principalmente en las grandes centrales generadoras de energía eléctrica.

En cualquier caso, la frecuencia del voltaje de salida producido por un alternador depende de la velocidad de giro del rotor y del número de polos magnéticos creados por las bobinas de campo. El valor rms del voltaje de salida, por su parte, depende principalmente de la velocidad del rotor, del número de bobinas de la armadura y de la intensidad del campo magnético producido por los devanados de campo.

En las centrales generadoras de energía eléctrica de los Estados Unidos de América y otros países del mundo, incluida Colombia, la frecuencia del voltaje de salida de los alternadores ha sido normalizada en 60Hz; mientras que en Europa y otra gran parte del resto del mundo, incluida Argentina, el valor estándar de la misma es 50 Hz. Los generadores de propósito especial, como los utilizados en los aviones, pueden tener una frecuencia diferente, digamos 400 Hz.

El valor rms del voltaje de salida entregado por las centrales de generación alcanza valores de varios miles de voltios, digamos 15 ó 20 kV. Mediante el uso de transformadores, este voltaje se convierte a un valor mucho más alto, por ejemplo 400kV, para llevarlo hasta las llamadas **subestaciones de trans-**

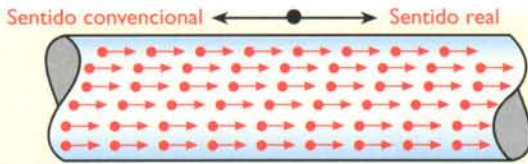


Figura 6.25. Ilustración del concepto de corriente continua

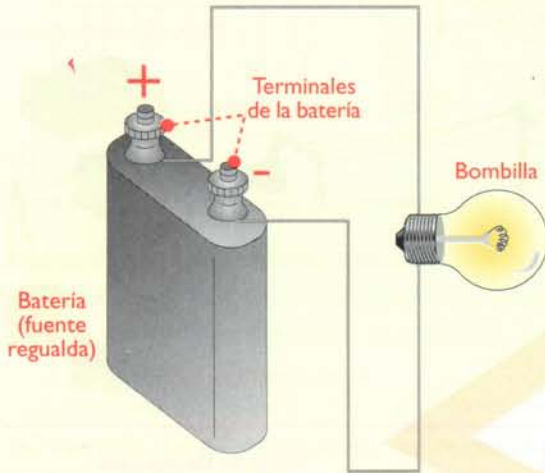


Figura 6.26. Ejemplo de un circuito de corriente continua

formación, desde donde parten las redes eléctricas de distribución pública, encargadas de repartir y hacer llegar la energía eléctrica a todos los abonados o usuarios. Así es como llega la corriente alterna a su hogar o sitio de trabajo, figura 6.24.

Segunda parte. Corriente continua

Una **corriente continua** (CC), en general, es un flujo de portadores de carga (electrones) en una misma dirección, figura 6.25. Para impulsar una corriente continua, a través de un circuito, se necesita una fuente de voltaje cuya polaridad no cambie con el tiempo, por ejemplo una batería, figura

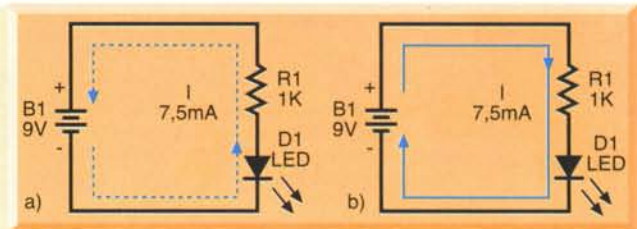


Figura 6.28. Sentido real (a) y convencional (b) de una CC

6.26. El flujo de cargas en una sola dirección y la polaridad fija del voltaje aplicado son las características básicas de un circuito de CC. En la figura 6.27 se muestran los símbolos utilizados para representar algunas fuentes de CC comunes.

Los portadores de carga en un circuito de CC pueden ser negativos o positivos, dependiendo de si se toma el sentido real o convencional de circulación de la corriente, figura 6.28. Sin embargo, esto no cambia el hecho de que la corriente continua tiene una sola dirección de flujo. Lo mismo sucede si el voltaje entregado por la fuente permanece constante o cambia de valor, pero mantiene siempre su misma polaridad, figura 6.29. La tabla de la figura 6.30 compara algunas características importantes de una corriente continua y una corriente alterna.

Formas de producir una CC

La fuerza necesaria para causar que fluya una corriente continua, a través de un circuito, puede ser suministrada por diversos tipos de fuentes. Las más conocidas son las **pilas y las baterías**, figura 6.31, las cuales producen una fuerza electromotriz (fem) debido a reacciones químicas que ocurren en su interior. Las baterías se examinan en detalle en la sección **Componentes** de este curso.

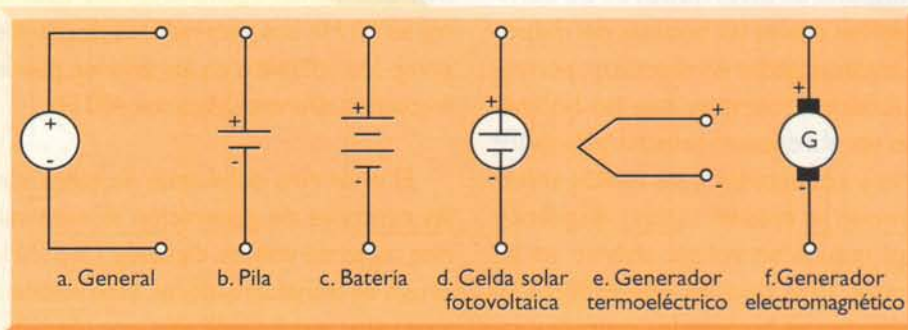


Figura 6.27. Símbolos comunes de algunas fuentes de voltaje de CC

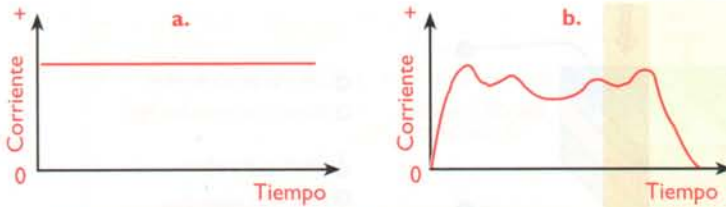


Figura 6.29. Corriente continua constante (a) y variable (b).

	Corriente continua	Corriente alterna
Polaridad del voltaje	Fija	Alternada
Dirección de la corriente	Fija	Alternada
Magnitud del voltaje	Constante o variable	Siempre variable
Aumento o disminución mediante transformador	No factible	Factible
Amplificación	Complicada	Sencilla
Medición	Sencilla	Complicada

Figura 6.30. Comparación entre la corriente continua y la corriente alterna



Figura 6.31. Estructura interna de una pila seca

También es posible producir corriente continua a partir de corriente alterna y otras formas de energía, como magnetismo, movimiento, calor, luz, etc. En estos principios se basan, por ejemplo, las fuentes de alimentación, los generadores electromagnéticos, las celdas solares, las celdas de combustible y los generadores termoeléctricos.

Las **fuentes de alimentación**, en particular, que se examinan en detalle en la siguiente lección de este curso, son realmente convertidores electrónicos que producen corriente continua (CC) a partir de corriente alterna (CA). Esta última es generalmente suministrada por la red de distribución pública de 120V o 220V, pero puede ser también proporcionada por un alternador, como sucede en un automóvil. El proceso de conversión de una co-

rriente alterna en una corriente continua se denomina **rectificación**.

Los **generadores de CC**, figura 6.32, operan en forma similar a los generadores de CA, excepto que los extremos de la bobina o bobinas, que constituyen la armadura, están conectados a un **conmutador**. Este último es simplemente un anillo formado por unas piezas metálicas llamadas **segmentos**, las cuales están aisladas eléctricamente entre sí y del eje sobre el cual se montan.

Las **celdas solares**, figura 6.33, son dispositivos que producen un voltaje de CC cuando son iluminadas mediante luz solar. Las mismas dependen para su funcionamiento de un fenó-

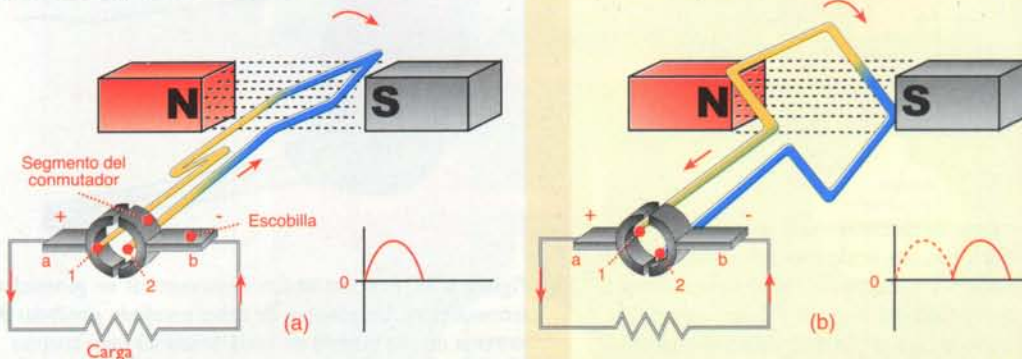


Figura 6.32. Principio de funcionamiento de un generador de CC. El conmutador actúa esencialmente como un rectificador. En (a), el segmento 1 del conmutador está en contacto con la escobilla "a" y el segmento 2 lo está con la escobilla "b". En (b), la situación se invierte. Por tanto, las escobillas "a" y "b" tienen una polaridad constante

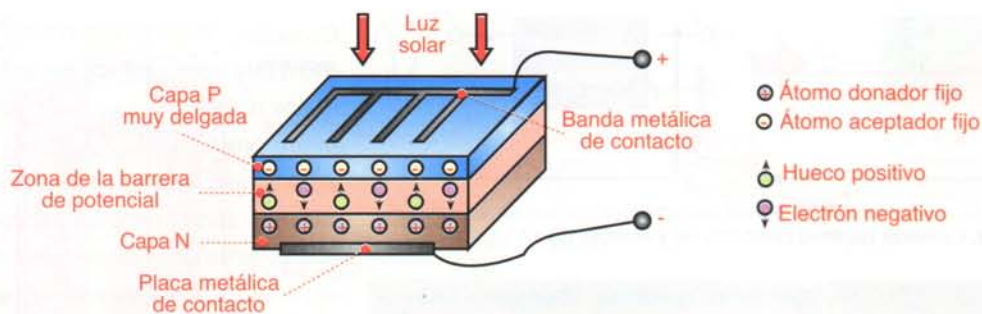


Figura 6.33. Principio de funcionamiento de una celda solar

meno físico conocido como efecto **fotovoltaico**, consistente en la generación de una diferencia de potencial cuando se aplica una radiación (luz en este caso) a la zona de unión de dos materiales semiconductores, uno llamado P, que tiene un déficit de electrones, y otro llamado N, que tiene un exceso de ellos.

Las **celdas de combustible**, figura 6.34, al igual que las baterías convencionales, generan un voltaje de CC por reacciones químicas. Asimismo, tienen un ánodo, un cátodo y un electrolito, así como un terminal positivo y uno negativo. La diferencia radica en que no necesitan ser recargadas porque se alimentan de una inyección continua de combustible, generalmente hidrógeno,

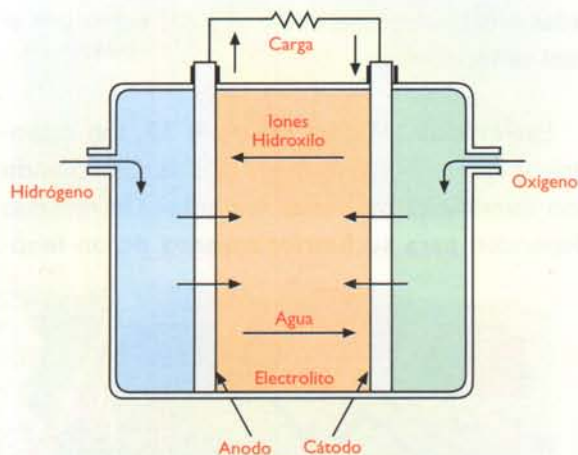


Figura 6.34. Principio de funcionamiento de una celda de combustible. El hidrógeno, que actúa como combustible líquido o gaseoso, se distribuye por el electrolito, obligándolo a liberar electrones que se depositan en el ánodo y fluyen a través del circuito externo hacia el cátodo. En este último, el oxígeno reacciona con el agua del electrolito y los electrones del circuito externo para formar iones, los cuales, al reaccionar con el hidrógeno, producen agua como subproducto.

metano, o aire. Además, sus electrodos (ánodo y cátodo) no se desgastan y tienen una vida útil prácticamente ilimitada.

Los **generadores termoelectrónicos**, figura 6.35, son dispositivos que producen un voltaje de CC cuando se calientan. Los mismos dependen para su funcionamiento de un fenómeno físico conocido como **efecto Seebeck**, descubierto en 1822 por Thomas J. Seebeck, el cual establece que, si se calienta la unión de dos metales diferentes y homogéneos, aparece entonces una fuerza termoelectromotriz (*f_{tem}*) entre sus terminales. En este principio se basan las llamadas **termocuplas**, utilizadas para la medición de temperatura en la industria.

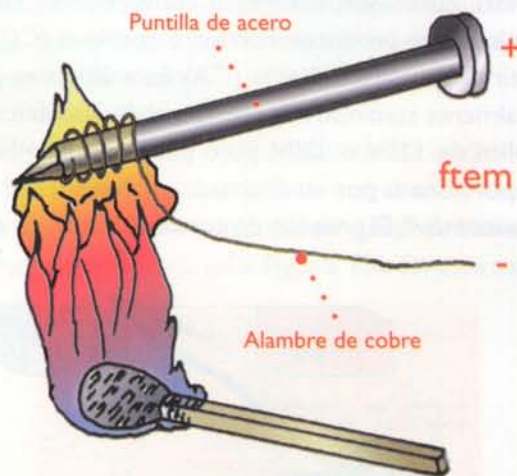


Figura 6.35. Principio de funcionamiento de un generador termoelectrónico. Un alambre de cobre enrollado alrededor de un extremo de una puntilla de acero producirá unos cuantos milivoltios cuando se calienta con la llama de un fósforo. Las uniones como el hierro y el constantán (aleación de cobre y zinc) producen voltajes mucho más altos.

Lección 7

Las fuentes de alimentación

Todos los circuitos y equipos electrónicos requieren de una fuente de alimentación para operar correctamente. Si falla la fuente, falla todo el equipo. En esta lección examinaremos el funcionamiento de algunas de las configuraciones de fuentes de alimentación más comúnmente utilizadas en la práctica.

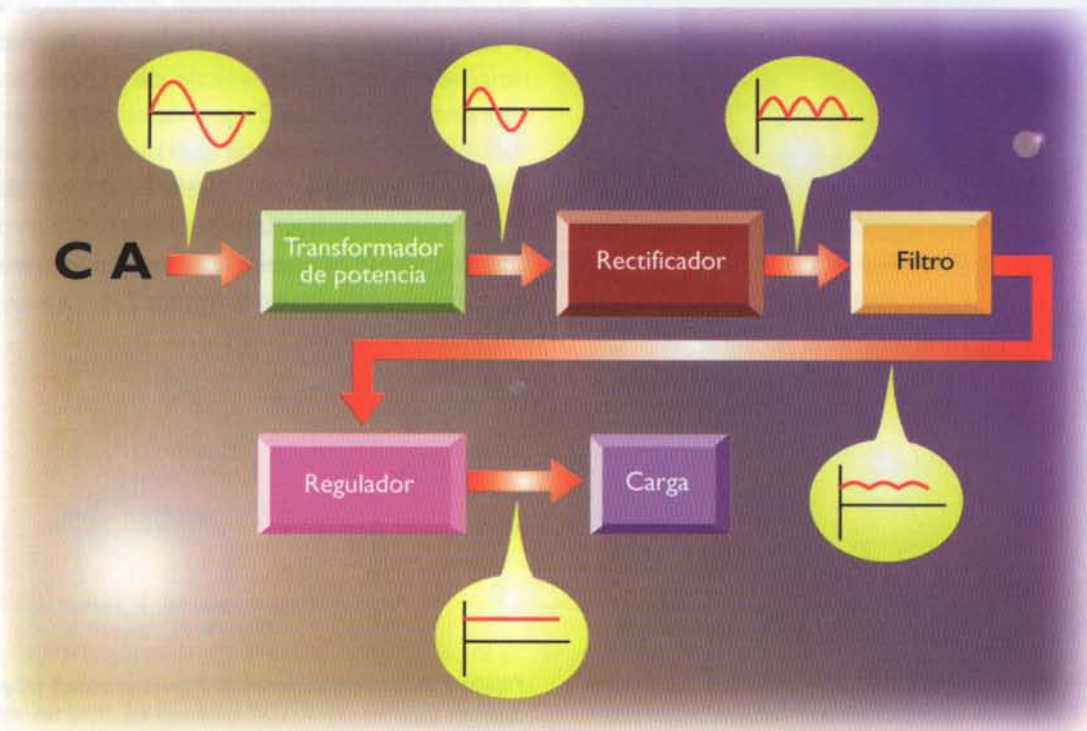




Figura 7.4. Estructura típica de una fuente de alimentación. El regulador es característico de las fuentes reguladas

el voltaje de CA de entrada, proveniente de la red pública, se aplica a un **transformador**, el cual se encarga de reducir su valor, por ejemplo, de 120V a 12V para adaptarlo a las necesidades de la carga, **figura 7.5**. Por tanto, el transformador actúa como un convertidor CA/CA. Algunas fuentes pueden operar directamente desde la red de CA, sin necesidad de un transformador, pero éste no es el caso general, ni el más seguro.

El voltaje de CA, obtenido a la salida del transformador, alimenta entonces un circuito **rectificador**, el cual se encarga de convertirlo en un voltaje de CC **pulsante**, **figura 7.6**. Este último, aunque ya tiene una polaridad +/- definida, presenta notables variaciones de amplitud, las cuales deben ser filtradas para conseguir un voltaje de CC **uniforme**, **figura 7.7**. Esta función la hace un **filtro**, conformado generalmente por uno o más condensadores.

El voltaje de salida del filtro puede aplicarse a la carga en forma directa o a través de un **regulador**. Este último es un circuito electrónico que se encarga de mantener constante el voltaje sobre la carga, independientemente de las variaciones en el voltaje de entrada o de la corriente demandada por la carga. Las fuentes provistas de regulador se denominan **fuentes reguladas**.

El elemento final de cualquier fuente de alimentación es la **carga**, es decir el componente o circuito que recibe la potencia de CC. En un televisor, por ejemplo, la carga de la fuente principal puede estar representada por los circuitos electrónicos que procesan la señal recibida en la antena y la convierten en una imagen en la pantalla. En otras aplicaciones la carga puede ser un motor, una bombilla, una batería recargable, etc.

Tipos de fuentes de alimentación

Las fuentes de alimentación pueden ser **reguladas y no reguladas**, dependiendo de si utilizan o no un elemento o circuito regulador de voltaje como parte de su estructura, **figura 7.8**. En esta lección examinaremos las características ge-

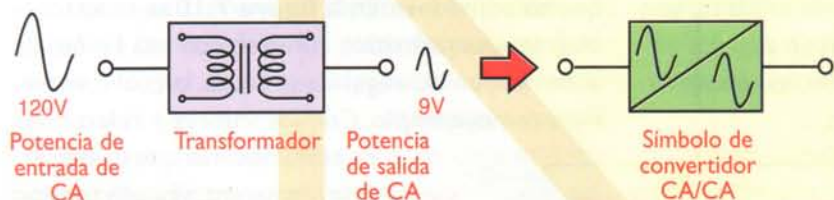


Figura 7.5. Acción básica del transformador en una fuente de alimentación



Figura 7.6. Acción básica del rectificador en una fuente de alimentación



Figura 7.7. Acción básica del filtro en una fuente de alimentación

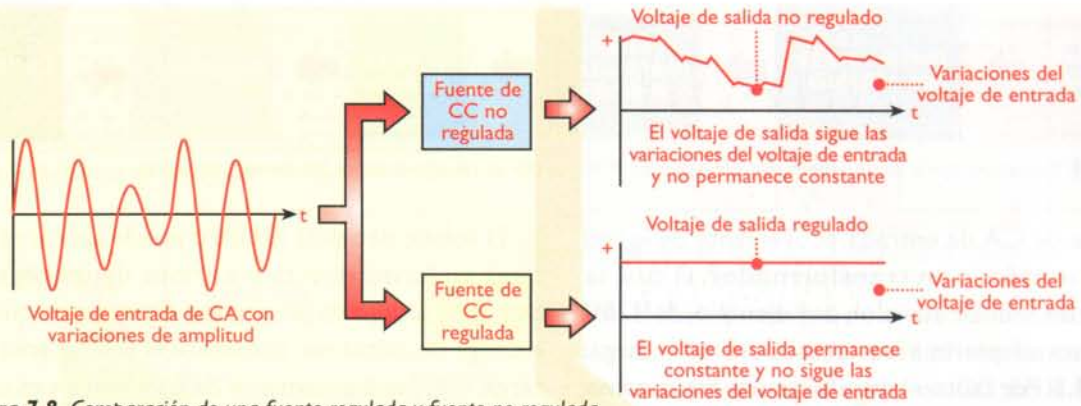


Figura 7.8. Comparación de una fuente regulada y fuente no regulada

nerales y las configuraciones más comunes de ambos tipos, comenzando por las fuentes no reguladas, que son las más sencillas y económicas.

Fuentes de alimentación no reguladas

Una **fente de alimentación no regulada** es una fuente que entrega como salida un voltaje de CC cuyo valor no es absolutamente constante, sino que varía dependiendo de los cambios en el voltaje de entrada o la corriente exigida por la carga. Esto se debe a que no utilizan elementos reguladores de voltaje. Por tanto, constan básicamente del transformador, el rectificador y el filtro, **figura 7.9**. Este tipo de fuentes se utilizan cuando las variaciones del voltaje de salida no son críticas. Su empleo es muy común en algunos circuitos de audio, radio y televisión, así como en juguetes y cargadores de baterías.

Las fuentes de alimentación no reguladas pueden ser de varias clases, dependiendo principalmente de la configuración del circuito rectificador. En esta lección examinaremos los siguientes tipos:

- Fuentes con rectificador de media onda
- Fuentes con rectificador de onda completa
- Fuentes con rectificador de puente
- Fuentes con multiplicador de voltaje

En nuestro estudio de las fuentes de alimentación no reguladas procederemos de una manera sistemática, examinando por separado las características generales de cada uno de los elementos que las componen. En la **figura 7.10** se muestra el diagrama esquemático completo de una fuente de alimentación no regulada práctica, la cual tomaremos como ejemplo. Con los valores y referencias de componentes que se indican, esta fuente entrega una tensión de CC nominal de +13V y tiene una capacidad de corriente de salida de 3 A.



Figura 7.9. Diagrama de bloques de una fuente de alimentación no regulada

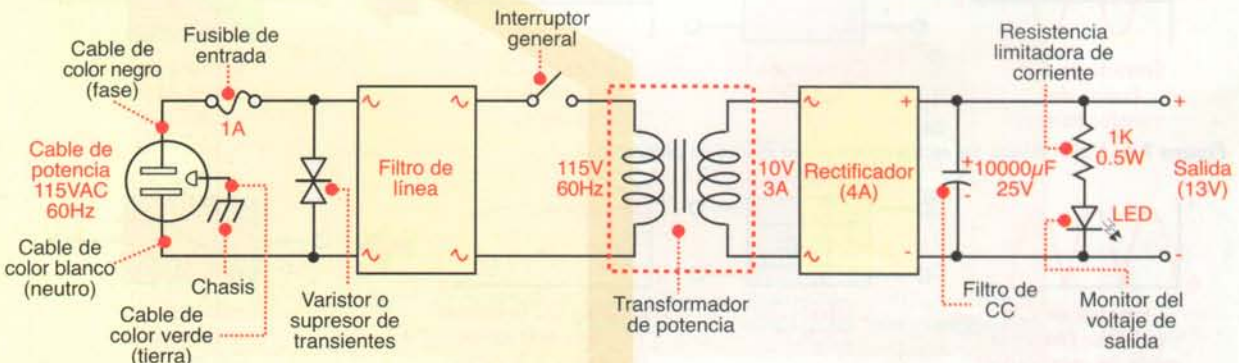


Figura 7.10. Fuente de alimentación no regulada completa

La fuente anterior consta de las siguientes partes o bloques constructivos generales, cada uno de los cuales será explicado en las siguientes secciones :

- Un circuito de entrada, constituido por el cable de potencia (PLI), el fusible general (FI), el supresor de picos (MOVI), el filtro de línea (LFI) y el interruptor general (SI)
- Un transformador (TI)
- Un rectificador (BRI)
- Un filtro de rizado (CI)
- Un circuito de salida, constituido en este caso por un diodo emisor de luz o LED (DI) y su correspondiente resistencia limitadora de corriente (RI)

El circuito de entrada

La función básica del circuito de entrada de una fuente de alimentación, es llevar el voltaje de CA de entrada desde la fuente de suministro, generalmente la red pública de distribución de corriente alterna de 120V o 220V, hasta el primario del transformador, **figura 7.11**. También cumple funciones auxiliares de protección, control y señalización. El circuito de entrada puede incluir, entre otros componentes, un cable o cordón de potencia, un fusible general, un interruptor general, un supresor de picos de voltaje, un filtro de línea y un indicador luminoso de presencia de voltaje. Algunos de estos elementos son obligatorios, mientras que otros son opcionales y se pueden omitir en muchos casos.

Para llevar el voltaje de CA de entrada desde la fuente de suministro, generalmente un tomacorriente

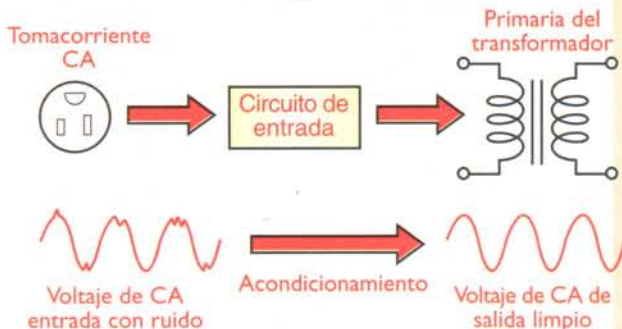


Figura 7.11 Función básica del circuito de entrada de una fuente de alimentación

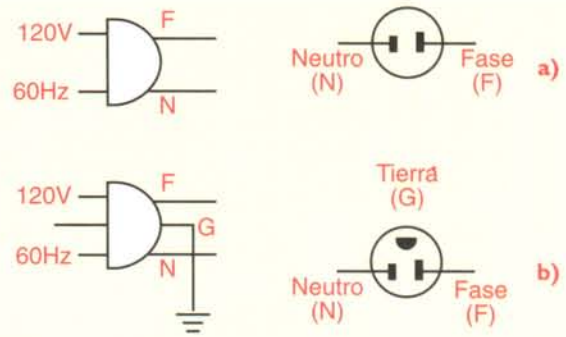


Figura 7.12 Aspecto físico y símbolos de los cables de potencia monofásicos para fuentes de alimentación

riente monofásico, hasta el primario del transformador, se necesita, como mínimo, un **cable o cordón de potencia** de longitud apropiada y dotado de un enchufe o clavija de conexión. Los cables de potencia monofásicos pueden ser de dos o tres conductores, **figura 7.12**. Los primeros, **figura 7.13a**, conectan la fuente únicamente con la fase y el neutro de la instalación eléctrica, mientras que los segundos, **figura 7.13b**, la conectan también con el conductor de protección o tierra. Estos últimos son los más recomendados. El conductor de tierra debe conectarse al **chasis**, bastidor o estructura metálica de la fuente.

Los cables de potencia se especifican de acuerdo al voltaje y la corriente máxima que pueden soportar, por ejemplo 250V/6A. Como regla general, el voltaje de alimentación de la fuente y la máxima corriente esperada en el circuito de entrada deben ser siempre inferiores a estos valores. De este modo, si su fuente se alimenta con

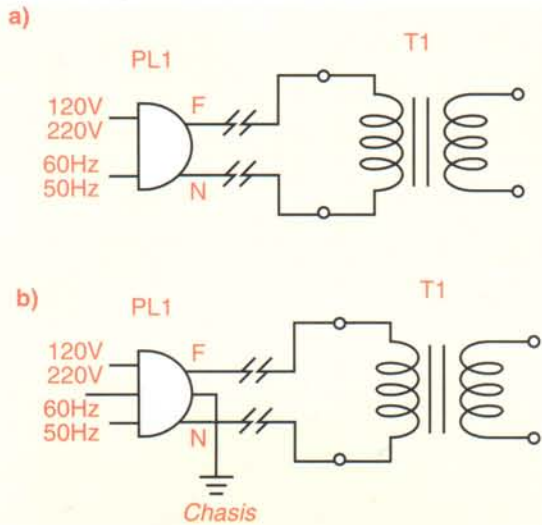


Figura 7.13 Circuito de entrada básico de una fuente de alimentación con un cable de potencia monofásico de dos hilos (a) y uno de tres hilos (b). El conductor de tierra debe conectarse al chasis del equipo.

120V rms y la máxima corriente de entrada esperada es 1A rms, un cable de 250V/3A es más que suficiente.

Además del cable de potencia, es conveniente que el circuito de entrada de una fuente disponga de un fusible y un interruptor general. El interruptor, **figura 7.14**, permite conectar y desconectar voluntariamente la fuente de la red de potencia, mientras que el fusible, **figura 7.15**, la protege en caso de una sobrecarga o un cortocircuito. Los fusibles se alojan normalmente en portafusibles para facilitar su remoción en caso de una falla, **figura 7.16**. El interruptor y el fusible se conectan en serie y sobre el lado del conductor de fase del circuito de entrada, **figura 7.17**. Tanto los interruptores como los fusibles y portafusibles se estudian en la sección de **componentes**.

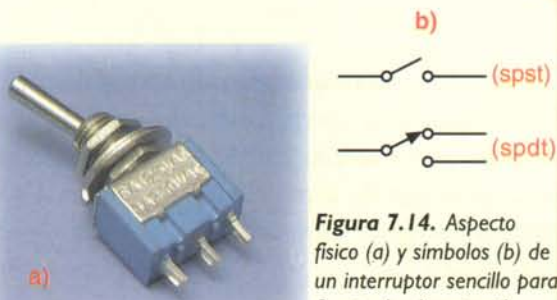


Figura 7.14. Aspecto físico (a) y símbolos (b) de un interruptor sencillo para fuente de alimentación



Figura 7.15. Aspecto físico (a) y símbolos (b) de fusibles para fuente de alimentación.

Los interruptores vienen en diferentes formas, tamaños y configuraciones de contactos, y se especifican de acuerdo al voltaje y la corriente máxima que pueden soportar, por ejemplo 250V/3A. Como regla general, el voltaje de alimentación de la fuente y la máxima corriente esperada en el circuito de entrada, deben ser siempre inferiores a estos valores.

Los fusibles, por su parte, pueden ser de **acción rápida** o de **acción lenta**, y se especifican



Figura 7.16. Aspecto físico de portafusibles para fuentes de alimentación

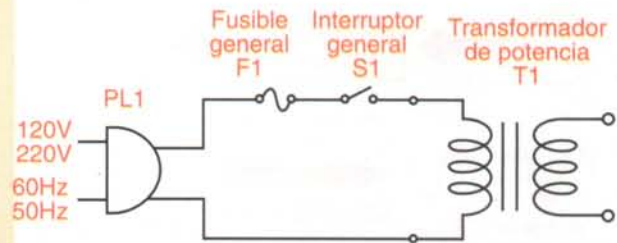


Figura 7.17. Circuito de entrada de una fuente de alimentación con la adición de un fusible y un interruptor general.

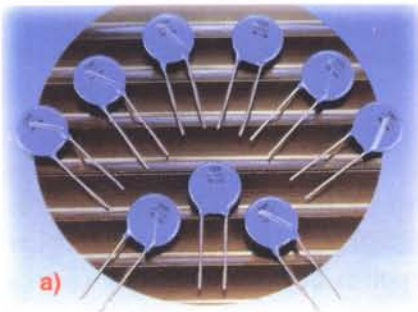


Figura 7.18. Aspecto físico (a) y símbolos (b) de varistores representativos

de acuerdo a la máxima corriente que pueden soportar antes de abrir el circuito al cual están incorporados, por ejemplo 2,5A. Los fusibles más adecuados para circuitos de entrada de fuentes de alimentación son los de acción **lenta** (*slow-blow*). Los fusibles de acción rápida (*fast-blow*) pueden fundirse fácilmente en el momento de conectar la fuente a la red de potencia, sin que exista realmente una falla. Como regla práctica, la corriente nominal de un fusible puede elegirse de modo que sea alrededor de un 50% mayor que la corriente máxima esperada en el circuito de entrada. Si esta última es, por ejemplo, de 500 mA rms, puede utilizarse un fusible de 750 mA.

También es conveniente proteger la fuente y los circuitos conectados a ella de las variaciones súbitas de voltaje que se presentan ocasionalmente en las líneas de potencia, las cuales pueden alcanzar amplitudes de varios miles de voltios y causar daños en circuitos sensibles. Para esta función se utiliza un componente conocido como **varistor**, **MOV** (*metal oxide varistor*) o **supresor de picos**, figura 7.18, el cual conduce cuando el voltaje entre sus terminales excede de un cierto valor límite. De este modo, absorbe la energía de los picos de voltaje y evita que continúen hacia el resto del circuito. Los varistores se conectan en paralelo con el cable de potencia, después del fusible, figura 7.19.

Los varistores se especifican de acuerdo al máximo voltaje que pueden soportar antes de actuar y la máxima energía

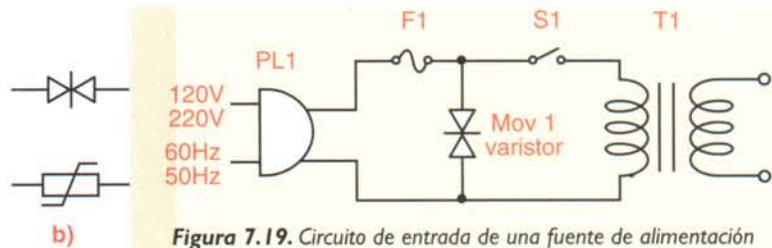


Figura 7.19. Circuito de entrada de una fuente de alimentación con la adición de un varistor o supresor de picos

del pico que pueden absorber cuando se disparan. Esta última, que se expresa en **julios** (J), está relacionada con su capacidad de conducción de corriente y el tiempo de duración máximo del pico. Por ejemplo, el varistor VI30LA2 tiene una tensión de ruptura de 184V (130Vrms), una capacidad de corriente de 400A y una capacidad de absorción de energía de 10J. Esto significa que recortará picos de voltaje por encima de 184V con una duración máxima hasta de 62,5 μ s. Si los picos duran más de este tiempo, el varistor se destruye y se abre el fusible principal.

Como parte del esquema de protección de una fuente, puede también utilizarse, opcionalmente, un **filtro de línea**, figura 7.20. Este último es simplemente un circuito formado por bobinas y condensadores que elimina los ruidos de

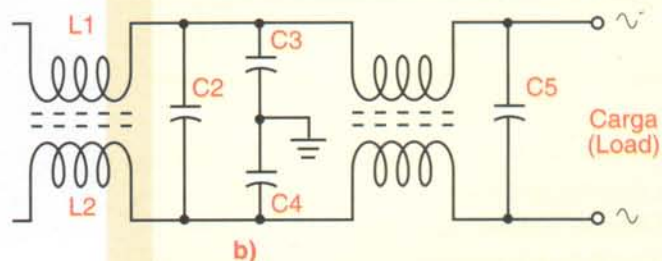


Figura 7.20. Aspecto físico (a) y circuito interno (b) de filtros de línea representativos

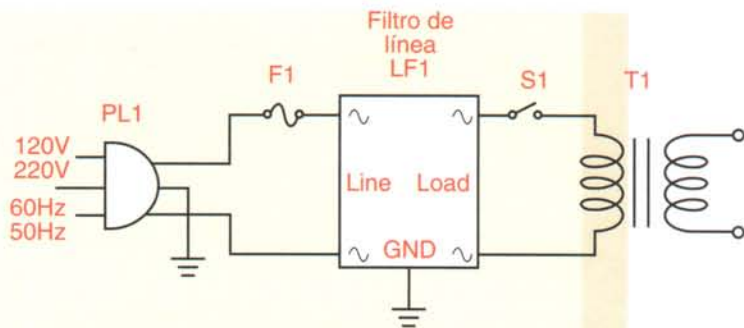
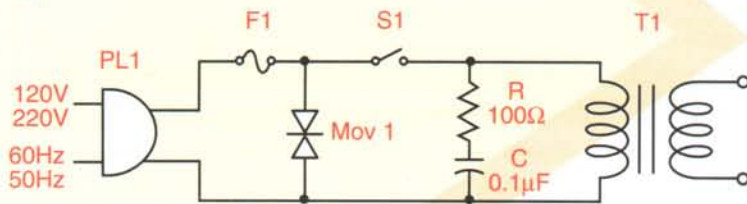


Figura 7.21. Circuito de entrada de una fuente de alimentación con la adición de un filtro de línea

a)



b)

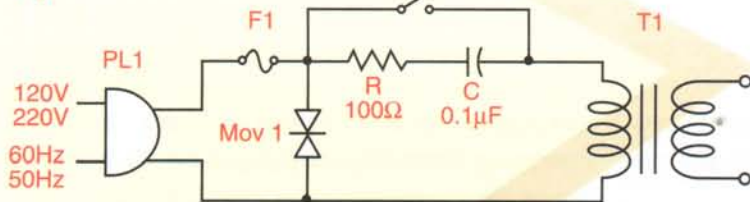


Figura 7.22. Circuito de entrada con una red RC de amortiguamiento (*snubber*) conectada a través del primario del transformador (a) o del interruptor general (b). En ambos casos el efecto es el mismo. Los valores indicados de R y C son típicos.

alta frecuencia inducidos en el circuito de entrada, por parte del propio circuito de carga de la fuente u otros equipos vecinos. Si este ruido, conocido como **EMI** o **RFI** (interferencia electromagnética o de radio-frecuencia) no se elimina, puede causar interferencias en otros equipos conectados a la misma línea.

El filtro de línea se conecta entre el cable de potencia y el transformador, después del fusible y antes del interruptor, **figura 7.21**. Su uso es muy común en equipos de comunicaciones. Se especifican principalmente de acuerdo al voltaje y la corriente máxima que pueden soportar, por ejemplo 250V/5A rms. También es importante conocer su circuito interno y el tipo de señales de interferencia que filtran.

Otra adición útil en el circuito de entrada de una fuente de alimentación es un circuito de amortiguamiento (*snubber*), formado generalmente por una resistencia en serie con un condensador, **figura 7.22**. Este circuito es opcional y se utiliza para amortiguar los pulsos de alto voltaje que se producen en el circuito de entrada en el instante de desconectar el transformador de la red de potencia. Si estos pulsos no se eliminan, pueden inducir ruido o interferencia en otros equipos sensibles localizados en las proximidades de la fuente. La red de *snubber* se conecta en paralelo con el primario del transformador o a través del interruptor, como se indica en la figura.

Finalmente, en el circuito de entrada de una fuente es conveniente disponer de algún tipo de indicador luminoso para monitorear la presencia de voltaje de CA en el primario del transformador. Para esta función se utiliza normalmente una luz piloto de neón, **figura 7.23**. Esta última está provista generalmente de una resistencia limitadora de corriente y se conecta

en paralelo con el primario del transformador, **figura 7.24**. Algunos interruptores incluyen una luz piloto de neón como parte integral, **figura 7.25**,

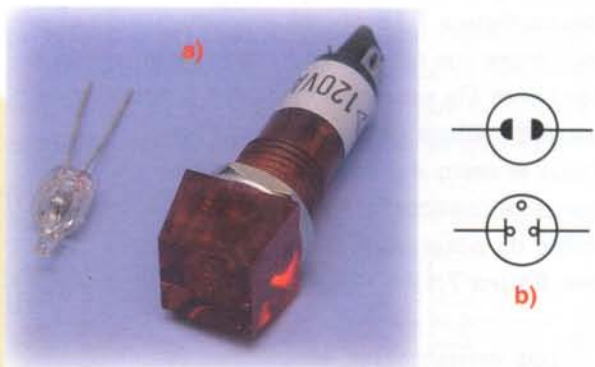


Figura 7.23. Aspecto físico (a) y símbolo (b) de una luz piloto de neón

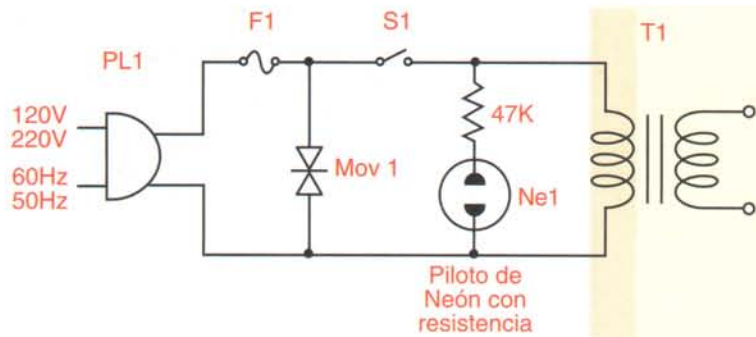


Figura 7.24. Circuito de entrada de una fuente de alimentación con la adición de una luz piloto de neón

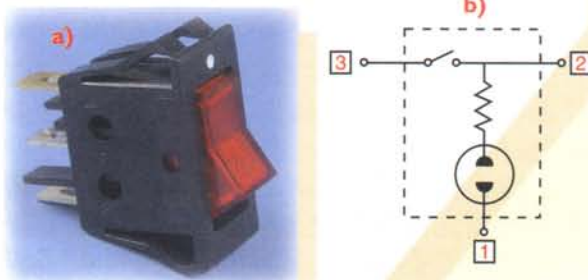


Figura 7.25. Aspecto físico (a) y circuito interno (b) de un interruptor con piloto de neón incorporado

combinando así las funciones de control y señalización en una misma estructura.

En lugar de una lámpara de neón puede también utilizarse un LED, como se muestra en la figura 7.26. En el primer caso (a), el LED se ilumina

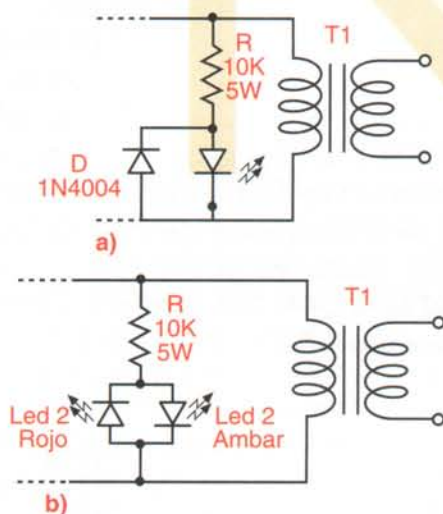


Figura 7.26. Circuito de entrada de una fuente de alimentación utilizando un LED sencillo (a) o tricolor (b) en lugar de una luz de neón. La resistencia (R) limita la corriente a través de cada LED a un valor seguro.

na durante los semiciclos positivos y se apaga durante los negativos. El diodo (D) evita que sobre el LED quede aplicado un voltaje excesivo, capaz de destruirlo. En el segundo caso se utiliza un LED tricolor, formado por un LED rojo, que se ilumina durante los semiciclos positivos, y uno amarillo, que se ilumina durante los semiciclos negativos. Debido a que el cambio de polaridad se efectúa a una velocidad alta para la retina (50 o 60 veces por segundo), el ojo percibe realmente una luz de color verde.

El transformador

En la mayoría de los casos, la tensión de la red de CA es demasiado alta para los requisitos de operación de los componentes utilizados en los circuitos electrónicos. Por esta razón, el voltaje de CA suministrado por el circuito de entrada de una fuente de alimentación debe ser reducido a niveles más manejables, por ejemplo de 120V a 9V. Esta función de reducción la efectúa un dispositivo llamado **transformador**, figura 7.27, formado por

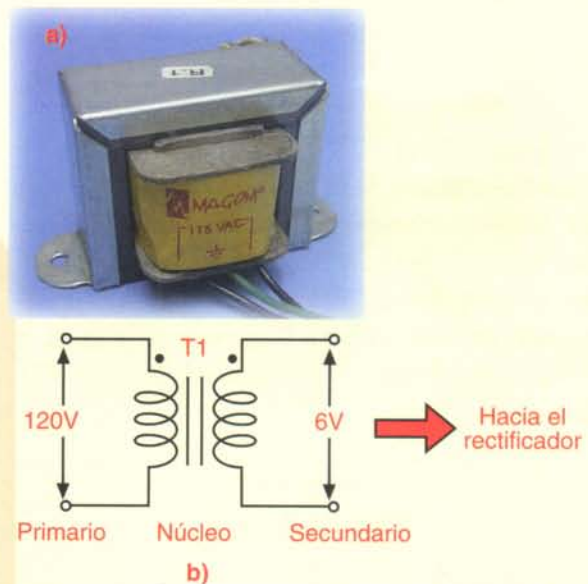


Figura 7.27. Aspecto físico (a) y símbolo básico (b) de un transformador con primario y secundario aislados. Las rayas verticales indican que el primario y el secundario están devanados sobre un núcleo de hierro común. Los puntos indican que los extremos marcados tienen la misma polaridad en cada instante.

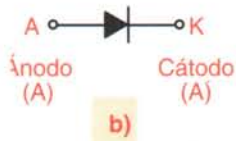
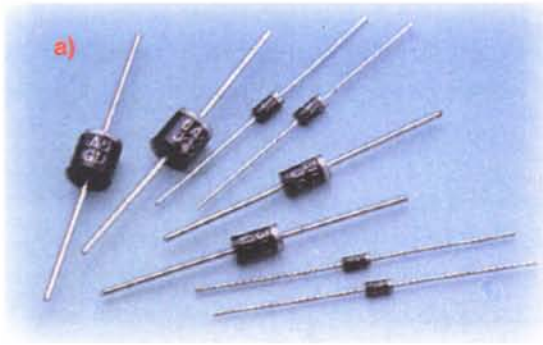


Figura 7.30. Aspecto físico (a) y símbolo (b) de un diodo rectificador.

0.21A, lo cual implica que el fusible de entrada debe ser del orden de 250mA.

El circuito rectificador

La función básica del circuito rectificador en una fuente de alimentación es convertir el voltaje de CA obtenido a la salida del transformador en un voltaje de CC pulsante, el cual tiene una polaridad única. Este proceso, denominado **rectificación**, es posible gracias a la utilización de unos componentes electrónicos llamados **diodos**, figura 7.30, diseñados específicamente para permitir la circulación de la corriente en un solo sentido y bloquearla en el sentido opuesto. Esta característica los hace adecuados para convertir corriente alterna bidireccional en corriente continua unidireccional, figura 7.31. Los diodos se estudian en la sección de **componentes** de este curso.

Un diodo permite el paso de corriente cuando el ánodo (A) es positivo con respecto al cátodo (K), y lo bloquea en el caso contrario, figura 7.32.

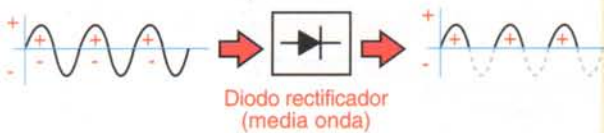


Figura 7.31. Acción básica de un diodo rectificador (media onda)

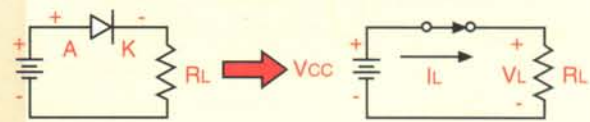
En el primer caso se dice que está polarizado **directamente** y en el segundo que lo está **inversamente**. Un diodo polarizado directamente se comporta como un interruptor cerrado y uno polarizado inversamente como un interruptor abierto. En el primer caso, la corriente a través del diodo es la misma de la carga (I_L), mientras que en el segundo el voltaje entre sus terminales es igual al voltaje de alimentación (V_{CC}).

Los diodos rectificadores se especifican por su máxima capacidad de corriente en condiciones de polarización directa y de voltaje en condiciones de polarización inversa. El diodo **1N4001**, por ejemplo, es de 50V/1A. Esto significa que puede soportar hasta 50V con polarización inversa o hasta 1A con polarización directa. Cuando el voltaje o la corriente, bajo estas condiciones, exceden los valores especificados, el diodo se destruye. Como regla práctica, estos valores pueden escogerse de modo que sean, por lo menos, el doble de los valores máximos utilizados en el circuito.

Tipos de rectificadores

Los rectificadores pueden ser de **media onda** o de **onda completa**, dependiendo de si utilizan uno o ambos semiciclos de la tensión de CA para producir la tensión de CC pulsante. El rectificador de la figura 7.31, por ejemplo, es de media onda, porque ignora los semiciclos negativos y deja pasar únicamente los semiciclos positivos. En el caso de un rec-

a) Diodo polarizado directamente $I_L = \frac{V_{CC}}{R_L}$



b) Diodo polarizado inversamente

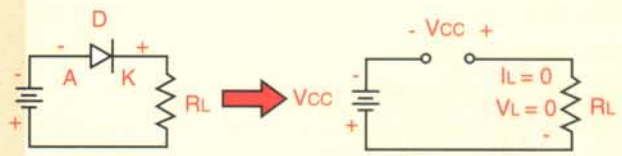


Figura 7.32. Polarización directa (a) e inversa (b) de un diodo. Circuitos equivalentes



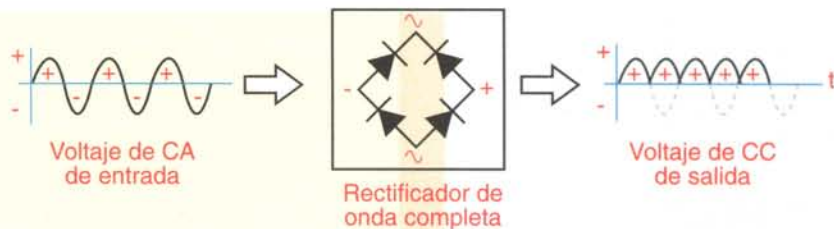


Figura 7.33. Acción básica de un rectificador de onda completa

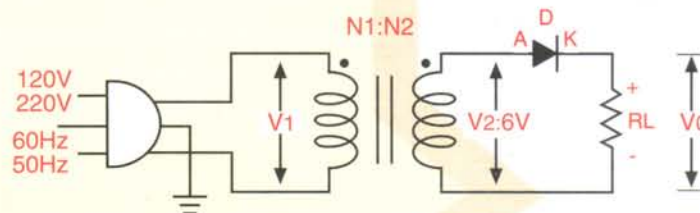


Figura 7.34. Circuito práctico de un rectificador de media onda

tificador de onda completa, **figura 7.33**, también pasan los semiciclos negativos, pero con su polaridad invertida, quedando así convertidos en semiciclos positivos. A continuación examinaremos la forma como estos procesos se llevan a cabo.

El rectificador de media onda

La forma más sencilla de convertir corriente alterna en corriente continua es utilizando un **rectificador de media onda**, como el mostrado en la **figura 7.34**. En este caso, durante los semiciclos positivos de la tensión de entrada aplicada al primario del transformador, el secundario tiene una tensión positiva entre sus extremos. Por tanto, el diodo queda polarizado directamente, permitiendo la circulación de corriente hacia la carga, **figura 7.35**.

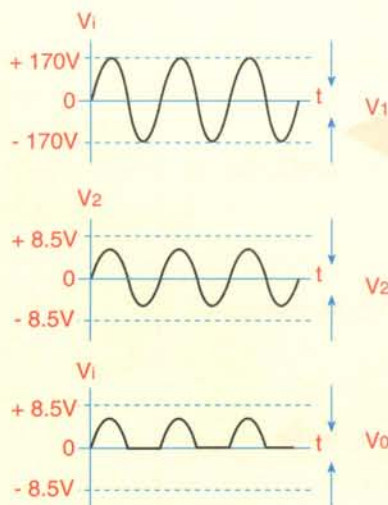
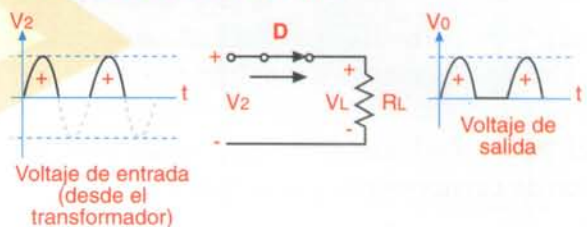


Figura 7.35. Formas de onda de un rectificador de media onda

Durante los semiciclos negativos de la tensión de entrada, el secundario entrega una tensión negativa entre sus extremos. Por tanto, el diodo queda polarizado inversamente, impidiendo el paso de corriente. En otras palabras, el diodo se comporta como un interruptor cerrado durante los semiciclos positivos y como un interruptor abierto durante los semiciclos negativos, **figura 7.36**. Como resultado, sobre la carga (RL) se produce un voltaje de CC pulsante formado por pulsos sinusoidales positivos. Debido a que los semiciclos negativos han sido cortados o eliminados, esta forma de señal se denomina una **media onda**.

a) Semiciclos positivos (D=ON)



b) Semiciclos negativos (D=OFF)

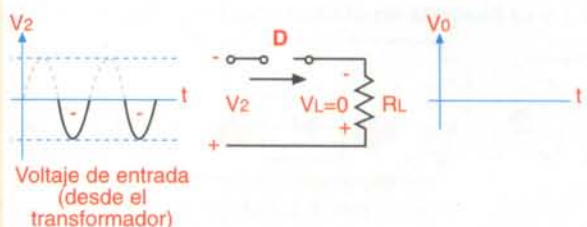


Figura 7.36. Circuitos equivalentes de un rectificador de media onda

El voltaje de CC pulsante obtenido a la salida de un rectificador de media onda tiene una frecuencia (f) igual a la de la tensión de la red, es decir 50 o 60 Hz, y una amplitud igual al valor pico (V_p) de la tensión en el secundario. Si se conecta un voltímetro de CC entre los extremos de la carga, el mismo proporcionará una lectura (V_{cc}) igual al **valor medio** de la tensión de salida. Para una señal de media onda, este valor está dado por:

$$V_{cc} = \frac{V_p}{\pi} = 0,318V_p$$

siendo V_p el valor pico. En la práctica, el voltaje real obtenido sobre la carga es ligeramente inferior a este valor, debido a que sobre el diodo se presenta una pequeña caída de voltaje, del orden de 0,7V, en condiciones de polarización directa. El siguiente ejemplo aclarará estos conceptos. El **experimento 7.1** los fijará de manera práctica.

Ejemplo 7.1. Un rectificador de media onda como el de la **figura 7.37** tiene aplicada una tensión de entrada de CA de 120V/60 Hz. Si el secundario entrega una tensión de salida de 15V a una carga de 100Ω, ¿cuál será el valor medio de la tensión de CC medida por el voltímetro?. Asuma que la caída de tensión en el diodo (V_D) es de 0.7V.

Solución. Inicialmente debemos calcular el valor pico de la tensión de CA del secundario (V_{p2}). Este último puede calcularse a partir del valor rms dado (15V) así:

$$V_p = \sqrt{2} V_{rms} = 1,4142 \times 15V = 21,21V$$

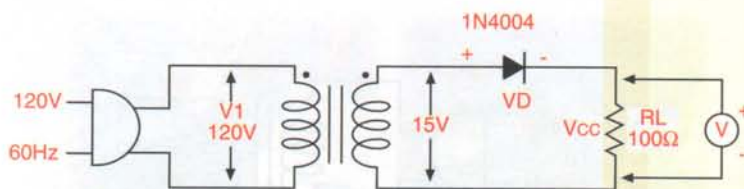


Figura 7.37. Rectificador de media onda para el ejemplo 7.1

Por tanto, idealmente, el valor medio del voltaje de salida medido por el voltímetro es:

$$V_{cc}(\text{ideal}) = \frac{V_p}{\pi} = 0,318 \times 21,21V = 6,75 V$$

En la práctica, a este valor debemos restarle la caída de voltaje sobre el diodo (0.7V) para obtener el voltaje de salida real. Por tanto:

$$V_{cc}(\text{real}) = V_{cc}(\text{ideal}) - V_d \\ = 6,75V - 0,7V = 6,05V$$

Este último sería el valor finalmente leído en el voltímetro.

Ejemplo 7.2. Se desea diseñar un transformador para un rectificador de media onda que suministre 1A de CC de salida a una carga de 10Ω a partir de una tensión de red de 220V, 50Hz. Para ello se selecciona un diodo rectificador que tiene una caída de voltaje directa de 0.45V. ¿Cuál debe ser el valor nominal de la tensión en el secundario?

Solución. El valor medio del voltaje de CC sobre la carga (V_L) es simplemente:

$$V_L = I_L \times R_L = 1A \times 10\Omega = 10V$$

Este valor debe ser igual al valor medio ideal de la tensión secundaria rectificadora (0,318 V_p) menos la caída de voltaje en el diodo ($V_d=0,45V$). Por tanto:

$$0,318V_p = V_L + V_d = 10,45V$$

siendo V_p el valor pico de la tensión de salida del secundario. Por tanto:

$$V_p = \frac{10,45V}{0,318} = 32,86 V$$

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 23,3V$$

Lo anterior implica que debe utilizarse un transformador reductor de 220V a 23.3V con una capacidad de corriente superior a 1A.

Experimento 7.1. Rectificador de media onda

Objetivos

- Aprender a identificar los devanados de un transformador
- Medir los voltajes de entrada y salida de un transformador
- Aprender a identificar los terminales de un diodo rectificador
- Aprender a probar diodos rectificadores con el multímetro
- Medir el voltaje y la corriente de salida de un rectificador de media onda
- Observar en un osciloscopio las formas de onda de un rectificador de media onda

Materiales necesarios

- I Cable de potencia monofásico
- I Transformador de potencia (M501 o similar)
 - Primario: 115V ó 220V
 - Secundario: 9V - 0 - 9V
 - Corriente: 200 mA
- I Diodo rectificador 1N4004

- I Resistencia 1.000Ω, 1/2W
- I Multímetro digital
- I Osciloscopio de dos canales
- I Tablero de conexiones sin soldadura (*protoboard*)
- I Cautín
- Soldadura, alambre de conexiones

Procedimiento

1. Identifique los terminales de los devanados primario y secundario. En nuestro caso, el primario tiene dos terminales, identificados con los rótulos 0V y 115V (ó 0V y 220V). El secundario, por su parte, tiene tres terminales, identificados con los rótulos 9V, 0V y 9V. Se trata, por tanto, de un transformador reductor. En este experimento no utilizaremos la derivación central (0V).
2. Los devanados del transformador pueden ser también probados e identificados midiendo su resistencia interna. Para ello, configure su multímetro como óhmetro y mida, en su orden, las resistencias del primario (R1) y del secundario (R2), como se indica en la **figura 7.38**. En nuestro caso obtuvimos $R1=795 \Omega$ y $R2=15 \Omega$. Notará que la resistencia del primario es mayor que la del secundario, ¿por qué?
3. Una vez identificado el primario, suelde entre sus terminales los extremos del cable de potencia, **figura 7.39**. Suelde también tres alambres telefónicos de 15 cm, u otra longitud adecuada, a los terminales del secundario. Estos últimos permitirán conectar el transformador al *protoboard*.

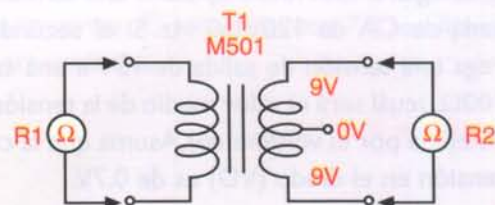
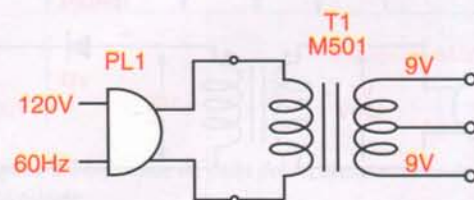


Figura 7.38. Midiendo la resistencia de los devanados



Figura 7.39. Conectando el cable de potencia



4. Conecte el cable de potencia a un tomacorriente monofásico común de 120V/60Hz ó 220V/50Hz. Con su multímetro configurado como voltímetro de CA, mida, en su orden, el valor real de los voltajes del primario (V_1) y del secundario (V_2) en circuito abierto, **figura 7.40**. En nuestro caso obtuvimos $V_1=119,2V$ y $V_2= 18,2V$. Por tanto, la relación de transformación es $V_2 / V_1=119,2V / 18,2V = 6,34$

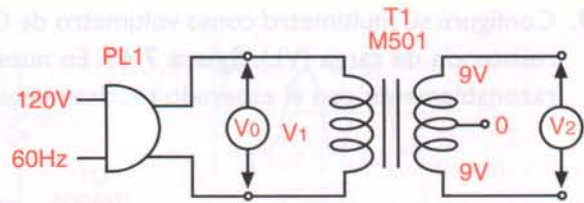


Figura 7.40. Midiendo los voltajes primario y secundario en circuito abierto



Figura 7.41. Identificando los terminales del diodo

5. Tome ahora el diodo rectificador e identifique sus terminales, **figura 7.41**. En nuestro caso, el cátodo (K) o negativo es el terminal marcado con la banda. Por tanto, el terminal no marcado corresponde al ánodo (A) o positivo.
6. Los terminales de un diodo pueden ser también identificados mediante pruebas de resistencia. Para ello, configure su multímetro como óhmetro y mida, en su orden, la resistencia entre ánodo y cátodo en polarización directa (RF) e inversa (RR), **figura 7.42**. Esta última debe ser prácticamente infinita. En general, la resistencia de un diodo en polarización directa es siempre inferior a su resistencia en polarización inversa, ¿por qué?

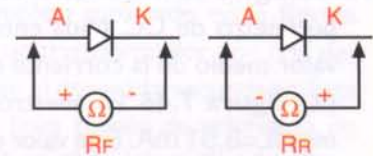


Figura 7.42. Probando el diodo rectificador

7. Arme sobre el *protoboard* el rectificador de media onda mostrado en la **figura 7.43**. Antes de instalar la resistencia de carga, mida su valor real (R_L) con el multímetro configurado como óhmetro. En nuestro caso obtuvimos $R_L= 980 \Omega$

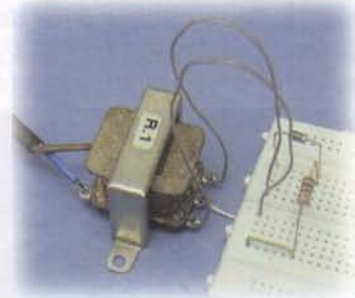
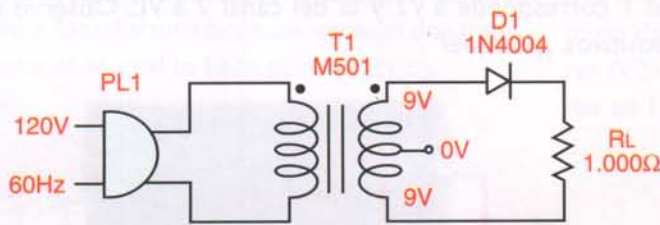


Figura 7.43. Montaje del rectificador de media onda en el protoboard

8. Configure su multímetro como voltímetro de CA. Mida entonces el valor rms del voltaje de salida del secundario (V_2) con carga, **figura 7.44**. En nuestro caso obtuvimos $V_2 = 18,8V$. Por tanto, el valor pico de este voltaje (V_2p) es $V_2p=26,59V$. Verifique también el valor del voltaje de entrada del primario.

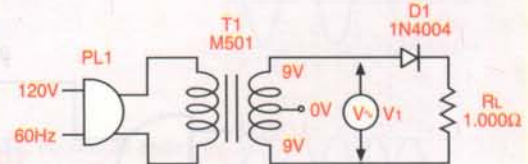
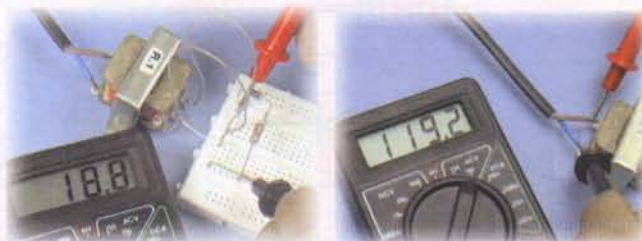


Figura 7.44. Medición del voltaje CA del secundario con carga

9. Configure su multímetro como voltímetro de CC. Mida entonces el valor medio del voltaje sobre la resistencia de carga (V_L), **figura 7.45**. En nuestro caso obtuvimos $V_L=8,35V$. Este valor concuerda razonablemente con el esperado teóricamente, ¿por qué?

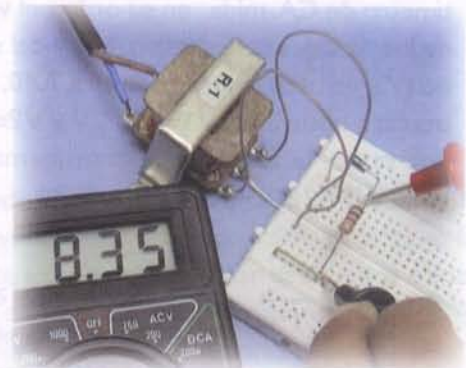
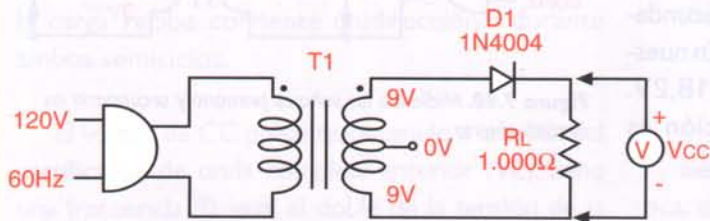


Figura 7.45. Midiendo el voltaje de salida

10. Configure su multímetro como amperímetro de CC. Mida entonces el valor medio de la corriente de salida (I_L), **figura 7.46**. En nuestro caso obtuvimos $I_L=8,51\text{ mA}$. Este valor concuerda razonablemente con el esperado teóricamente, ¿por qué?

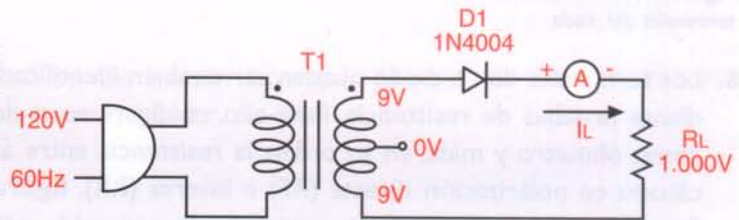


Figura 7.46. Midiendo la corriente de salida

11. Las formas de onda reales del voltaje de salida del secundario (V_2) y del voltaje sobre la carga (V_L) pueden ser también observadas y comparadas en un osciloscopio. En la **figura 7.47** se muestran las formas de onda obtenidas. También se indican los principales valores de voltaje y tiempo de las mismas. En este caso, la señal del canal 1 corresponde a V_2 y la del canal 2 a V_L . Observe que únicamente se rectifican los semiciclos positivos, ¿por qué?

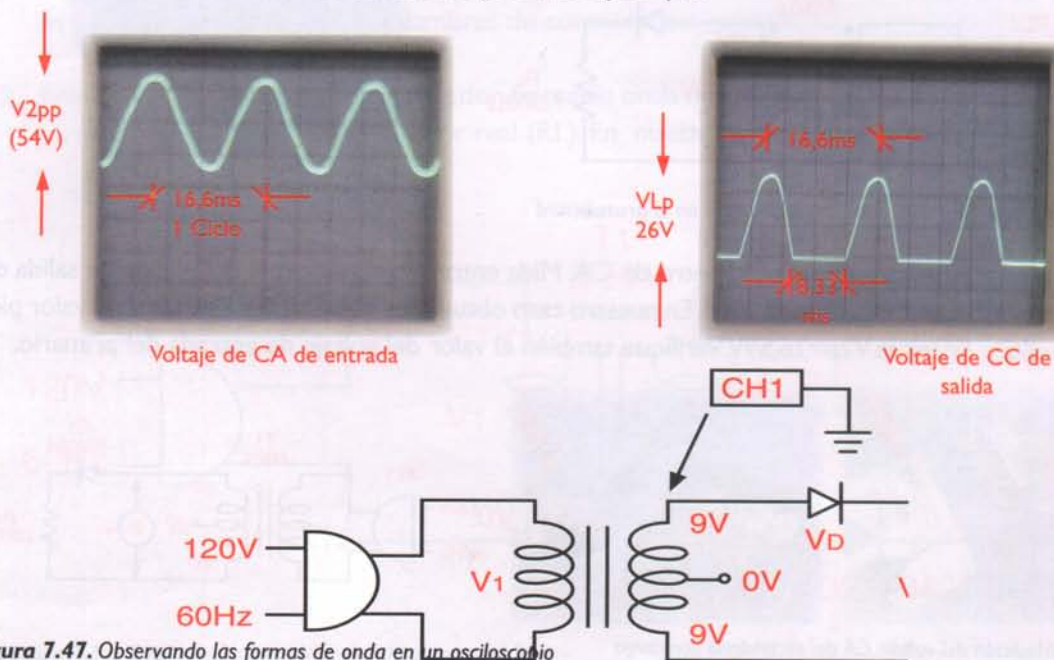
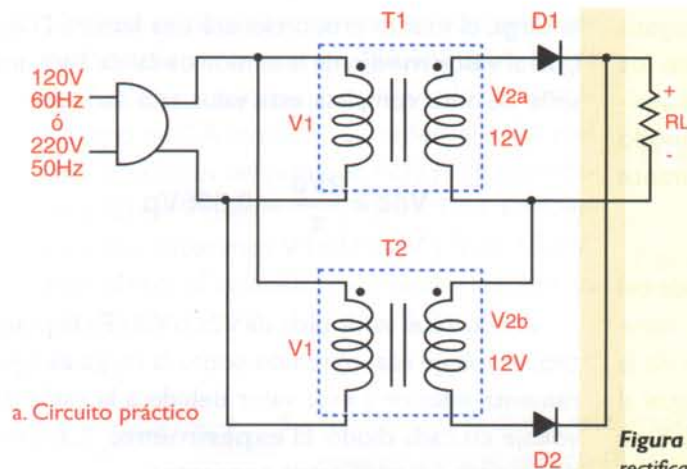
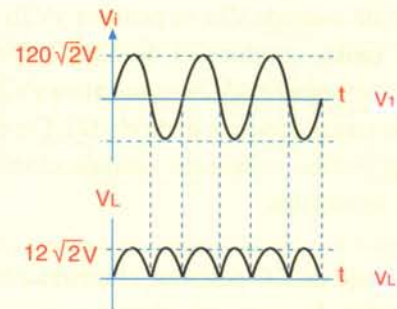


Figura 7.47. Observando las formas de onda en un osciloscopio



a. Circuito práctico



b. Formas de ondadel voltaje de entrada (V_i) y sobre la carga (V_L)

Figura 7.48. Rectificador de onda completa con dos rectificadores de media onda

El rectificador de onda completa con transformador de toma intermedia.

El rectificador de media onda anterior es muy sencillo porque utiliza un mínimo de componentes. Sin embargo, no es muy eficiente, porque solo permite que circule corriente a través de la carga durante los semiciclos positivos. Una alternativa es utilizar dos rectificadores de media onda independientes, figura 7.48. En este caso, el rectificador superior proporciona corriente a la carga durante los semiciclos positivos de la tensión de entrada y el inferior durante los semiciclos negativos. Por tanto, el circuito proporciona rectificación de onda completa. Desafortunadamente, necesita dos transformadores, lo cual lo hace poco práctico.

Un refinamiento del circuito anterior es el rectificador de onda completa mostrado en la figura 7.49a, el cual utiliza un transformador con una derivación intermedia en el devanado secundario. Esta última es la tierra o línea común de referencia de los voltajes de entrada y salida del rectificador, figura 7.49b. Debido a este modo de conexión, el circuito es equivalente a dos rectificadores de media onda, excepto que utiliza un solo transformador.

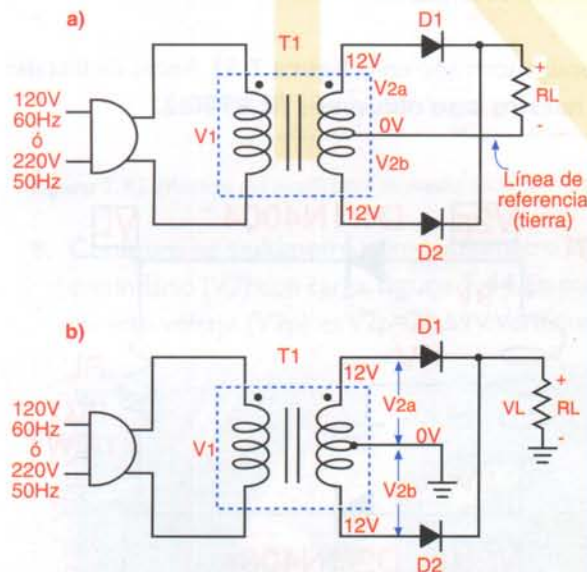


Figura 7.49. Rectificador de onda completa con transformador de toma intermedia. Dos versiones del mismo circuito

En la figura 7.50 se muestran las formas de onda de los voltajes producidos en el circuito. Todos ellos están referidos a tierra. Desde este punto de vista, las tensiones producidas en el secundario (V_{2a} y V_{2b}) son idénticas, pero están desfasadas en 180° . Durante los semiciclos positivos de la

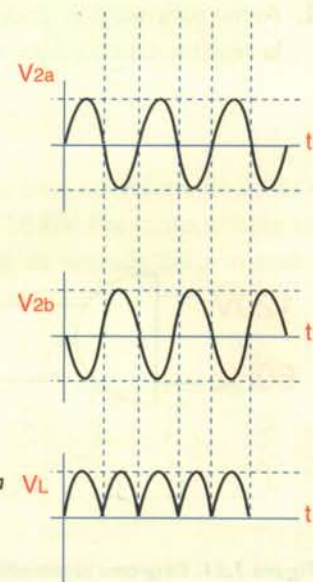


Figura 7.50. Formas de onda del rectificador de onda completa con transformador derivado

tensión de entrada, V2a es positiva y V2b es negativa. Por tanto, conduce el diodo D1. Durante los semiciclos negativos, V2a es negativa y V2b es positiva. Por tanto, conduce el diodo D2. De este modo la carga recibe corriente unidireccional durante ambos semiciclos.

El voltaje de CC pulsante, obtenido a la salida del rectificador de onda completa anterior (VL), tiene una frecuencia (f) igual al doble de la tensión de la red, es decir 100Hz ó 120Hz, y una amplitud igual al valor pico (Vp) de la tensión en el secundario. Si se conecta un voltímetro de CC entre los extremos de

la carga, el mismo proporcionará una lectura (Vcc) igual al **valor medio** de la tensión de salida. Para una señal de onda completa, este valor está dado por:

$$V_{cc} = \frac{2V_p}{\pi} = 0,636V_p$$

siendo Vp el valor pico de V2a o V2b. En la práctica, el voltaje real obtenido sobre la carga es ligeramente inferior a este valor debido a la caída de voltaje en cada diodo. El **experimento 7.2** fijará de manera práctica estos conceptos.

Experimento 7.2. Rectificador de onda completa con transformador de toma intermedia

Objetivos

- Medir el voltaje y la corriente de salida de un rectificador de onda completa
- Observar en un osciloscopio las formas de onda de un rectificador de onda completa

Materiales necesarios

Los mismos del experimento 7.1, más un diodo 1N4004 (D2)

Procedimiento

1. Repita los pasos 1 hasta 6 del **Experimento 7.1**, si no lo ha hecho. En caso contrario, continúe con el siguiente paso. Se supone que el transformador ya ha sido probado y está provisto de su respectivo cable de potencia, y de los alambres de conexión del secundario.
2. Arme sobre el *protoboard* el rectificador de media onda mostrado en la **figura 7.51**. Antes de instalar la resistencia de carga, mida su valor real (RL). En nuestro caso obtuvimos **RL=980Ω**.

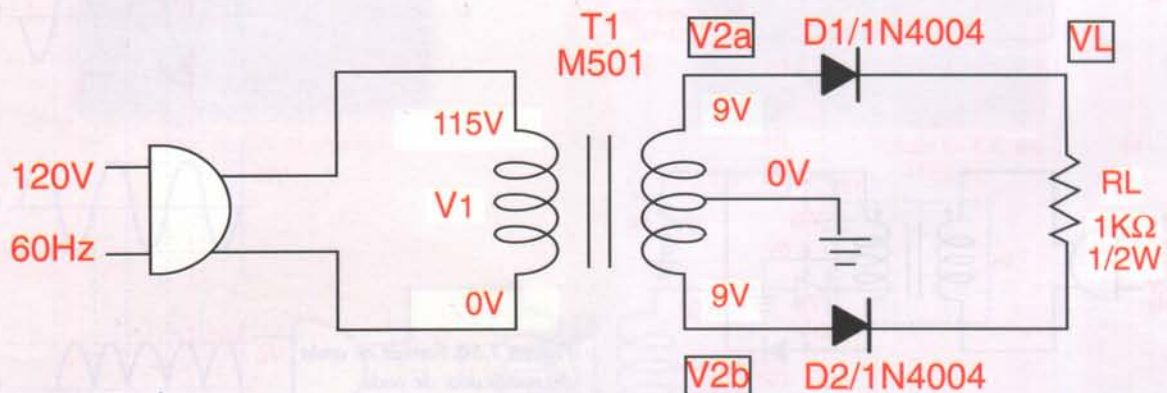


Figura 7.51. Diagrama esquemático del experimento 7.2

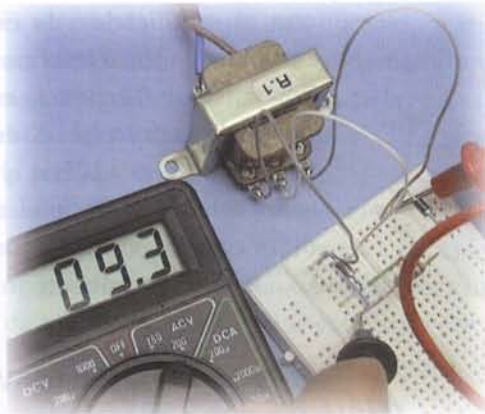
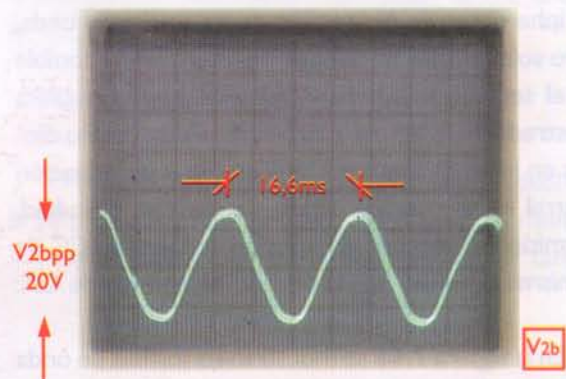
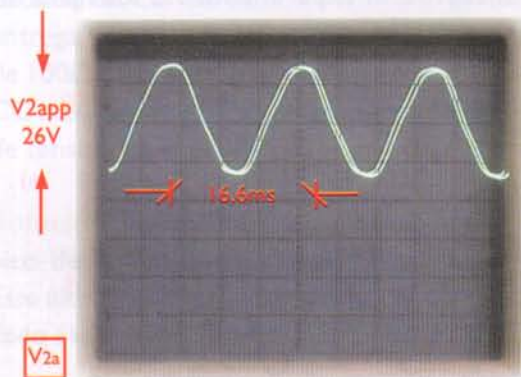


Figura 7.52. Medición de los voltaje de CA del secundario con carga

4. Mida el valor medio del voltaje de CC sobre la resistencia de carga (V_L), figura 7.53. En nuestro caso obtuvimos $V_L=8,15V$. Este valor concuerda razonablemente con el esperado teóricamente. ¿Por qué?



Figura 7.53. Midiendo el voltaje de salida



5. Las formas de onda reales del voltaje de salida del secundario (V_{2a} y V_{2b}), así como del voltaje sobre la carga (V_L) pueden ser también observadas y comparadas en un osciloscopio. En la figura 7.54 se muestran las formas de onda obtenidas. También se indican los principales valores de voltaje y tiempo de las mismas.

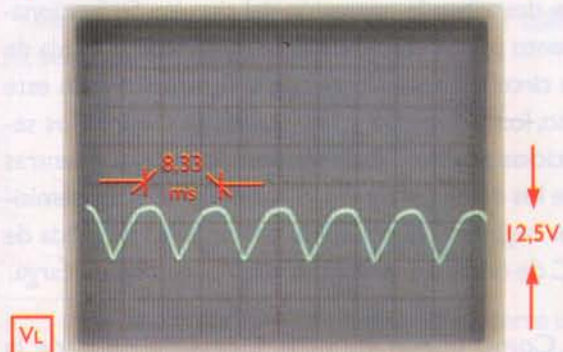


Figura 7.54. Observando las formas de onda en un osciloscopio

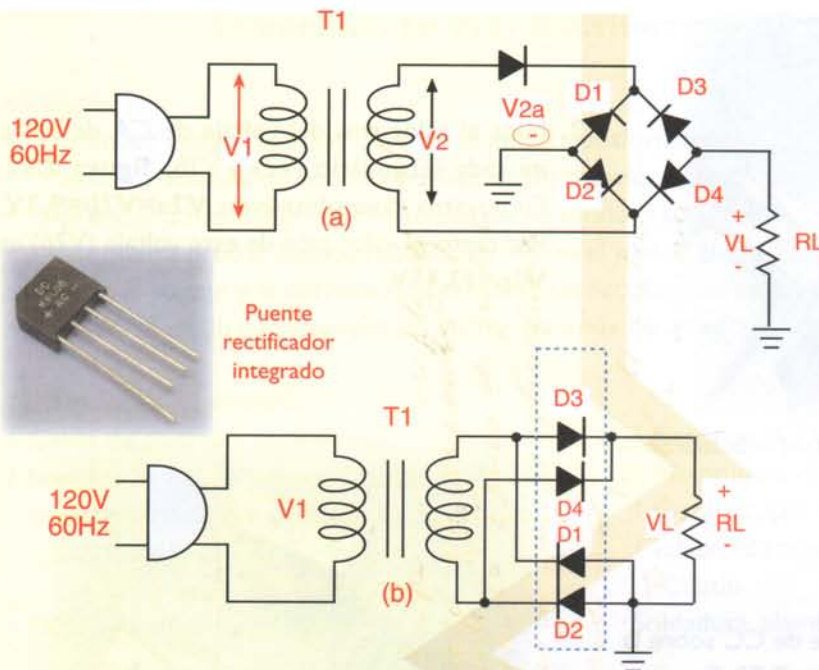


Figura 7.55. Rectificador de onda completa con puente de diodos. Dos versiones del mismo esquema. También se muestra el aspecto típico de un puente de diodos encapsulado en un solo módulo

Rectificador de onda completa tipo puente

El rectificador de onda completa con transformador de toma intermedia elimina algunas de las desventajas inherentes de los rectificadores de media onda, pero solo aprovecha la mitad de la tensión disponible en el secundario. El rectificador de onda completa mostrado en la **figura 7.55**, el cual utiliza cuatro diodos en lugar de dos y no requiere de una derivación central en el transformador, supera esta dificultad, permitiendo obtener una tensión de salida en CC de la misma amplitud que la tensión de entrada de CA.

En la **figura 7.56** se muestran las formas de onda que describen la operación del circuito. Su funcionamiento puede comprenderse mejor con la ayuda de los circuitos equivalentes de la **figura 7.57**. En este caso, los diodos D2 y D3 conducen durante los semiciclos positivos de la tensión de entrada, mientras que los diodos D1 y D4 lo hacen durante los semiciclos negativos. El resultado es una señal de salida de CC de onda completa sobre la resistencia de carga.

Como puede verse, la forma de onda de la tensión sobre la carga es idéntica a la obtenida

con el rectificador de onda completa de toma intermedia. Por tanto, su frecuencia es el doble de la frecuencia de la red (100Hz o 120Hz) y su valor medio, es decir el medido con un voltímetro de CC, está dado por:

$$V_{cc} = \frac{2V_p}{\pi} = 0,636V_p$$

siendo V_p el valor pico de la tensión de CA de salida del secundario. En la práctica, el valor obtenido es ligeramente menor, debido a las caídas que se presentan en los dos diodos que entran en conducción durante cada semiciclo. Por tanto, a la tensión obtenida

mediante la fórmula anterior deben descontarse alrededor de 1.4V para obtener la tensión de salida real. El siguiente ejemplo aclarará estos conceptos. El experimento 7.3 los fijará de manera práctica.

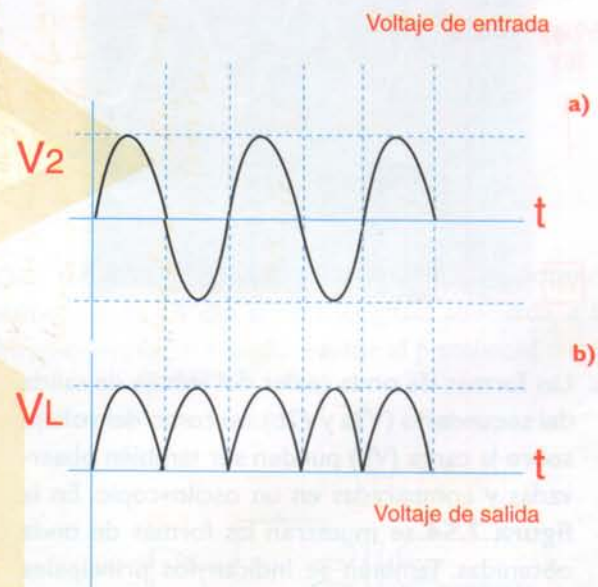
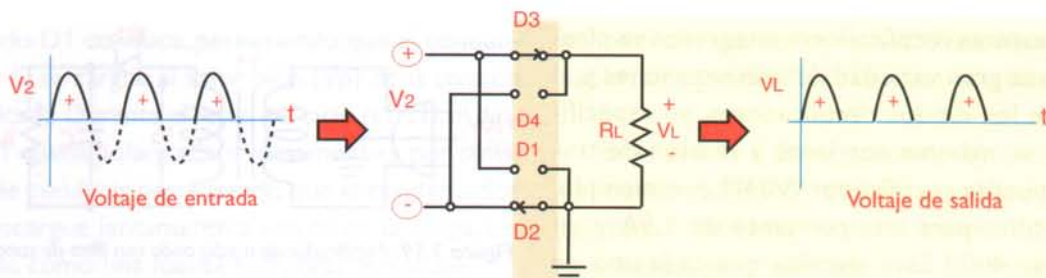
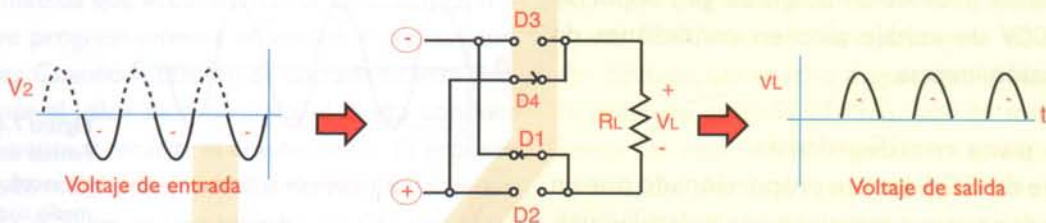


Figura 7.56. Formas de onda del rectificador de onda completa tipo puente
a. Circuito de voltaje de entrada
b. Circuito de voltaje de salida



a) Circuito equivalente durante los semiciclos positivos



b) Circuito equivalente durante los semiciclos negativos

Figura 7.57. Circuitos equivalentes de un rectificador de onda completa con puente de diodos durante los semiciclos positivos (a) y negativos (b)

Ejemplo 7.3. Suponga que en el circuito de la figura 7.55b, la tensión de CA de entrada es de 220V/50Hz. Si el transformador T1 tiene una relación de espiras de 20 a 1 (20:1) y no se tienen en cuenta las caídas de voltaje en los diodos del puente rectificador, ¿cuál será el valor del voltaje de CC medido en la carga?

Solución. Inicialmente calculamos los valores rms y pico requeridos para el voltaje de salida del secundario (V2):

$$\frac{V1}{V2} = 20$$

$$V2 = \frac{V1}{20} = \frac{220}{20} = 11V \text{ (rms)}$$

$$V2p = \sqrt{2}V2 = 1,4142 \times 11 = 15,6V$$

Por tanto, ignorando las caídas de voltaje en los diodos, el valor medio del voltaje de salida es:

$$V_{cc} = 2V[\] = 0,636 \times 15,6 = 9,90V$$

Éste sería, idealmente, el valor medido en un voltímetro de CC. Asumiendo una caída total de 1,4V en los diodos del puente rectificador, el valor real medido sería del orden de $9,90V - 1,4V = 8,5V$

Puentes rectificadores integrados

La rectificación de onda completa, mediante un puente de diodos, es una de las técnicas de conversión de CA a CC más utilizadas en el diseño de fuentes de alimentación, debido principalmente a que no requiere un transformador con derivación central y proporciona un voltaje de salida con un valor máximo igual al valor pico de entrada. Aunque los puentes rectificadores pueden ser construidos con diodos **discretos** (individuales), una práctica muy común es el empleo de puentes rectificadores **integrados**, los cuales incorporan los cuatro diodos de un circuito puente, con sus respectivas conexiones, en una misma cápsula, **figura 7.58**

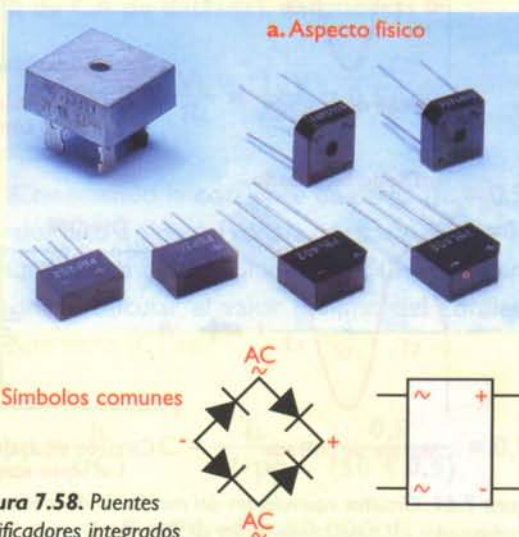


Figura 7.58. Puentes rectificadores integrados

Los puentes rectificadores integrados se ofrecen en una gran variedad de presentaciones y, al igual que los diodos rectificadores, se especifican por su máxima corriente y tensión de trabajo. El puente rectificador W04M, por ejemplo, se especifica para una corriente de 1,5A y un voltaje de 400V. Esto significa que cada uno de sus diodos internos puede conducir hasta 1,5A de corriente promedio hacia la carga y soportar hasta 400V de voltaje pico en condiciones de polarización inversa.

Filtros para rectificadores

El voltaje de CC pulsante proporcionado por un rectificador, aunque mantiene una polaridad única, no es adecuado para alimentar circuitos electrónicos. Esto se debe a que su valor no se mantiene constante, sino que varía periódicamente entre cero y el valor máximo de la onda seno de entrada. Para suavizar este voltaje y convertirlo en un voltaje de CC uniforme, similar al de una batería, debe utilizarse un filtro. Este último es generalmente un condensador electrolítico de muy alta capacidad. Los condensadores se examinan en detalle en la sección **Componentes** de este curso.

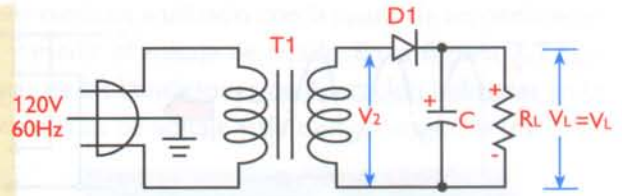


Figura 7.59. Rectificador de media onda con filtro de condensador

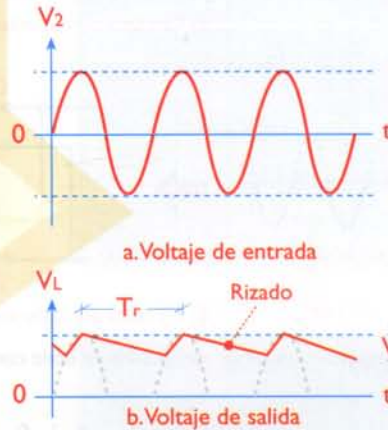


Figura 7.60. Formas de onda del rectificador de media onda con filtro

En la figura 7.59 se muestra como ejemplo un rectificador de media onda con filtro de condensador. En la figura 7.60 se observa la forma de onda del voltaje de salida obtenido. El funcionamiento del circuito puede comprenderse fácilmente con ayuda de los circuitos equivalentes de la figura 7.61. Durante el primer cuarto de ciclo (t_0-t_1),

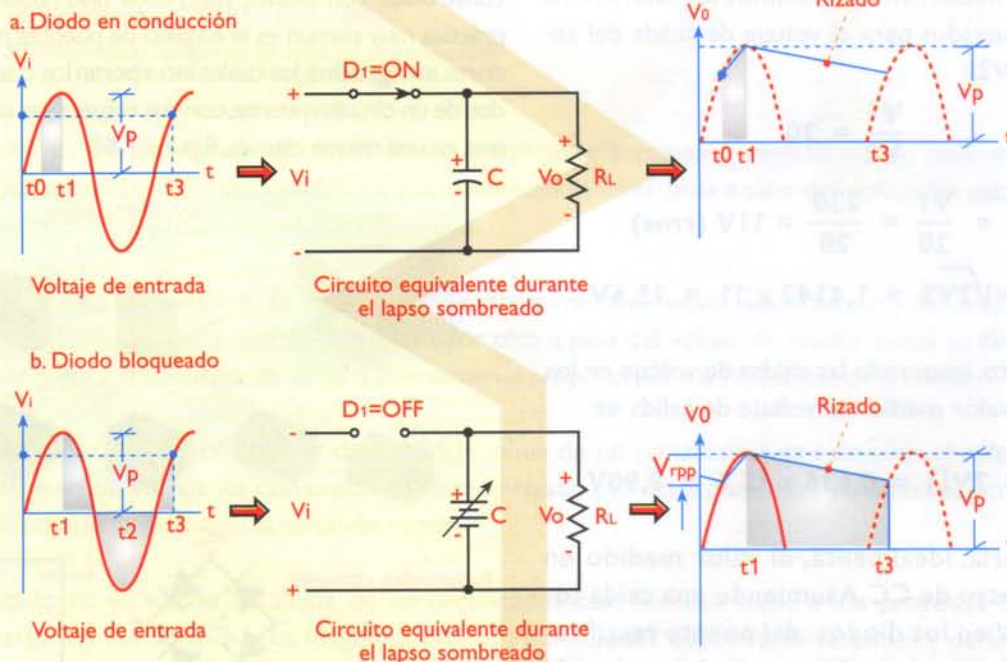


Figura 7.61. Circuitos equivalentes del rectificado de media onda con filtro. La carga siempre está recibiendo corriente procedente del transformador (a) o del condensador de filtro (b). El diodo D1 permanece bloqueado entre t_1 y t_3 , ¿por qué?

el diodo D1 conduce, permitiendo que el condensador C se cargue al valor pico (V_p) de la tensión rectificadora. Durante el resto del ciclo (t_1-t_3), el diodo D1 queda polarizado inversamente y por tanto deja de conducir, permitiendo que el condensador se descargue lentamente a través de la carga, actuando como una fuente temporal de voltaje.

A medida que el condensador se descarga, disminuye progresivamente el voltaje entre sus terminales. Cuando la tensión de entrada alcanza nuevamente el valor pico positivo, el diodo conduce brevemente y recarga el condensador. El proceso se repite indefinidamente. Como resultado, la tensión en la carga es una tensión de CC casi ideal, excepto por una pequeña variación periódica de amplitud ocasionada por la carga y la descarga del condensador. Esta variación se denomina **rizado** (*ripple*) y tiene la misma frecuencia del voltaje rectificado. Su amplitud pico a pico (V_{rpp}) está dada, en forma aproximada, por la siguiente fórmula:

$$V_{rpp} = \frac{I_L}{fC}$$

siendo I_L la corriente de la carga (A), f la frecuencia de la señal de rizado (Hz) y C la capacidad del condensador de filtro (F). La frecuencia de rizado (f) es igual a la frecuencia del voltaje CA de entrada para el caso de un rectificador de media onda y el doble de este valor para el caso de uno de onda completa. De este modo, si la frecuencia de entrada es de 50Hz, el rizado puede ser de 50Hz o de 100 Hz, dependiendo del esquema de rectificación empleado. En general, entre más alta sea la frecuencia de rizado, más fácil es la operación de filtrado.

Observe que, si el circuito de la **figura 7.59** no tiene conectada una carga, el valor de la corriente de carga (I_L) es 0 A y, por tanto, la amplitud del rizado (V_{rpp}) es 0V. Bajo estas condiciones, el voltaje de salida es constante e igual al valor pico de la tensión de entrada ($V_L=V_{2p}$). Note también que cuando el diodo no conduce, el voltaje entre sus terminales puede llegar a ser igual al doble del va-

lor pico de entrada, ¿por qué? Este dato es muy importante para el diseño de este tipo de circuitos.

En la práctica, debe buscarse que la amplitud del rizado (V_{rpp}) sea lo más pequeña posible ya que este voltaje alterno puede manifestarse como un ruido en los amplificadores de audio, por ejemplo. Para ello, el valor del condensador de filtro (C) debe ser escogido de tal modo que el producto $RL \times C$, llamado la **constante de tiempo** del circuito, sea mucho mayor que el período de la señal de entrada ($T=1/f$), por lo menos diez veces. De este modo se garantiza que el condensador solo pierda una pequeña parte de su carga almacenada durante el tiempo en que el diodo D1 permanece cortado. El siguiente ejemplo aclarará estos conceptos

Ejemplo. En un rectificador de media onda, con filtro como el de la figura 7.59, el voltaje de CA de entrada (V_2) tiene un valor pico de 10V y una frecuencia de 50 Hz. Si el circuito alimenta una carga de 20Ω , ¿cuál debe ser el valor mínimo del condensador de filtro C para que la tensión de rizado esté por debajo de 0,5Vpp? Asuma que la caída de voltaje sobre el diodo, en condiciones de polarización directa, es cero.

Solución. Inicialmente calculamos la corriente de la carga (I_L). Puesto que $R_L=20\Omega$ y $V_L \sim 10V$ (aproximadamente igual al valor pico de la tensión de CA de entrada), entonces:

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{10V}{20\Omega} = 0,5A$$

Conociendo la corriente de carga ($I_L = 0,5A$), el valor pico a pico del voltaje de rizado ($V_{rpp}=0,5V$) y la frecuencia de este último ($f = 50Hz$), podemos entonces calcular el valor mínimo del condensador de filtro (C) así:

$$V_{rpp} = \frac{I_L}{fC} \quad C = \frac{I_L}{fV_{rpp}} = \frac{0,5}{(50 \times 0,5)} = 0,02F$$

$$F = 20mF = 20.000\mu F$$

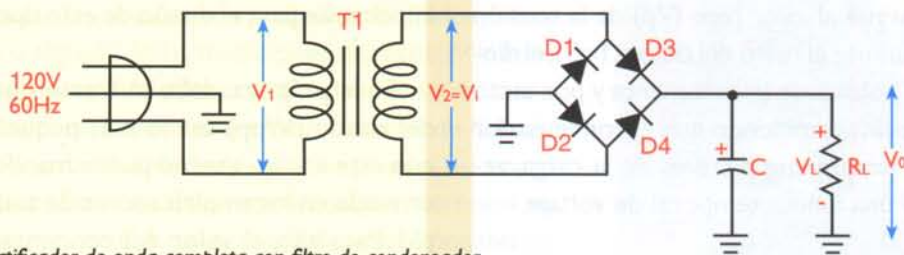


Figura 7.62. Rectificador de onda completa con filtro de condensador

Por tanto, se requiere como mínimo un condensador de filtro de $20.000\mu\text{F}$. Este último puede ser obtenido, por ejemplo, conectando en paralelo 2 condensadores electrolíticos de $10.000\mu\text{F}$, 6 de $3.300\mu\text{F}$, 10 de $2.200\mu\text{F}$, etc.

Puesto que el valor máximo de la tensión de salida es de 10V, el voltaje nominal de este condensador puede ser de 16V o más. Observe que el producto $R_L \times C$ (400 ms) es mucho mayor que el período del voltaje de entrada (20ms).

Rectificador de onda completa con filtro

En un rectificador de media onda, el condensador de filtro se recarga solamente una vez durante cada ciclo del voltaje de entrada. Por tanto, debe suministrar corriente a la carga durante la mayor parte del tiempo. Esto obliga a utilizar condensadores de gran capacidad para minimizar el rizado y sostener la corriente de la carga.

Un mejor resultado se obtiene utilizando un rectificador de onda completa, **figura 7.62**. En este caso, el condensador se recarga dos veces por semiciclo, lo cual implica que su tiempo de descarga se reduce a la mitad. Como resultado, disminuye el rizado y el voltaje de salida se mantiene casi constante, muy próximo al valor pico.

Observe que los diodos D3 y D2 conducen durante los semiciclos positivos del voltaje de entrada (V_2), mientras que los diodos D1 y D4 lo hacen durante los semiciclos negativos.

En cada caso, a través de los diodos circula la mitad de la corriente de carga, ya que la otra mitad es suministrada por el condensador de filtro. En la figura 7.63 se observa la forma de onda del voltaje de salida de CC de este circuito. La amplitud del rizado se calcula de la misma forma que para el rectificador de media onda, excepto que ahora la frecuencia de la ondulación (f) es el doble de la frecuencia de entrada. El siguiente experimento aclarará estos conceptos.

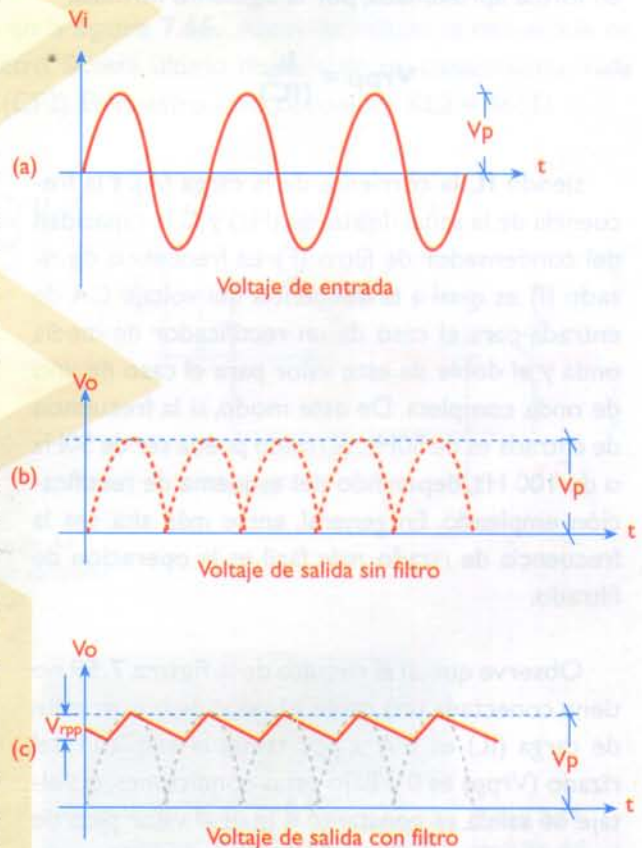


Figura 7.63. Forma de onda del voltaje de salida de un rectificador de onda completa con filtro de condensador

Experimento 7.3. Rectificador de onda completa tipo puente con filtro de condensador

Objetivos

- Comparar cuantitativamente el funcionamiento de un rectificador de onda completa con y sin filtro de salida.
- Observar en un osciloscopio las formas de onda del voltaje de salida de un rectificador de onda completa con y sin filtro
- Medir la amplitud del voltaje de rizado de un rectificador de onda completa para distintos valores del condensador de filtro

Materiales necesarios

Los mismos del **experimento 7.1** junto con los siguientes elementos adicionales:

- 1 Puente rectificador de 1A/400V (W04M o equivalente) (BR1)
- 1 Resistencia de $470\ \Omega$, 1/2W (RL2)
- 1 Resistencia de $100\ \Omega$, 2W (RL3)
- 1 Condensador electrolítico de $3.300\ \mu\text{F}/35\text{V}$ (CF1)
- 1 Condensador electrolítico de $1.000\ \mu\text{F}/35\text{V}$ (CF2)
- 1 Condensador electrolítico de $220\ \mu\text{F}/35\text{V}$ (CF3)

Procedimiento

1. Repita los pasos 1 hasta 4 del **experimento 7.1**, si todavía no lo ha hecho, para probar el transformador y proveerlo de sus respectivos cables de conexión. En caso contrario, continúe con el siguiente paso.
2. Tome el puente rectificador e identifique sus terminales, **figura 7.64**. Observe que los terminales de entrada de CA están ambos marcados con el símbolo «~», mientras que los terminales de salida de CC están marcados con los símbolos «+» (positivo) y «-» (negativo).

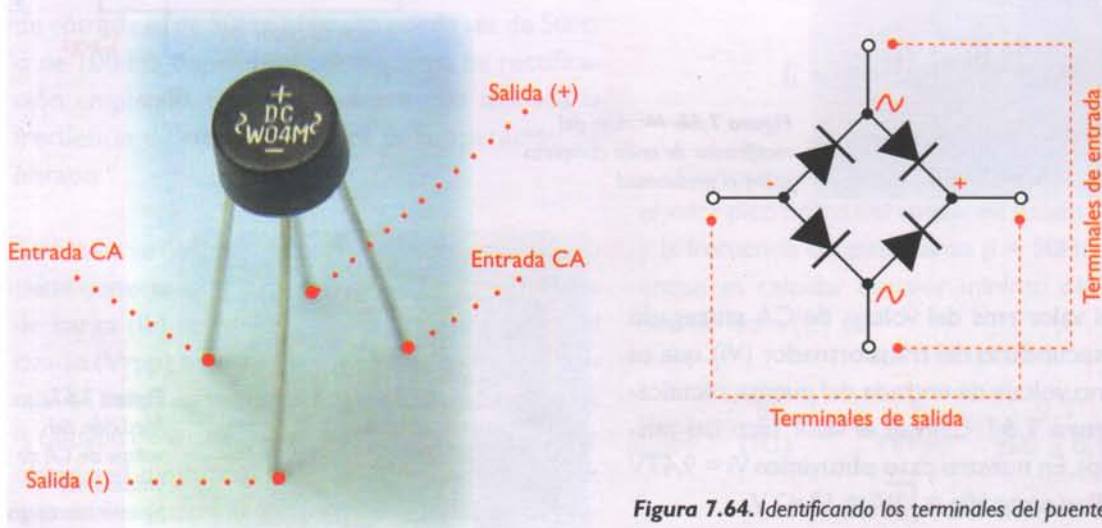


Figura 7.64. Identificando los terminales del puente rectificador

3. Pruebe el puente rectificador. Para ello, configure su multímetro como óhmetro o como probador de diodos y efectúe todas o algunas de las mediciones de resistencia indicadas en la **figura 7.65**. Observe que debe obtenerse una lectura de alta resistencia entre los terminales de CA, sin importar la polaridad de las puntas de prueba, así como entre los terminales de CC o entre cualquier terminal de CC y cualquiera de CA con la punta de prueba positiva en «+», o la negativa en «-». Bajo cualquier otra condición, debe obtenerse una lectura de baja resistencia. ¿Podría usted explicar por qué se obtienen estas lecturas?

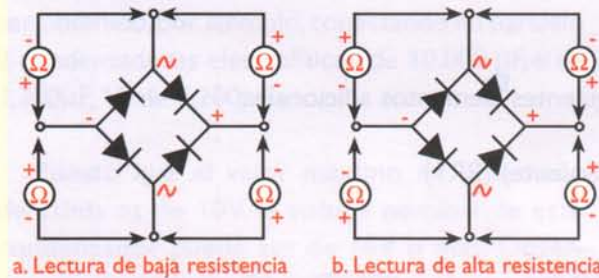


Figura 7.65. Probando el puente rectificador

4. Arme sobre el *proto-board* el circuito mostrado en la **figura 7.66**. Antes de instalar la resistencia de carga ($RL2$), mida su valor real con el multímetro. Si este último dispone de un capacitímetro, mida también el valor real del condensador de filtro ($CF2$). En nuestro caso, obtuvimos $RL2 = 465\Omega$

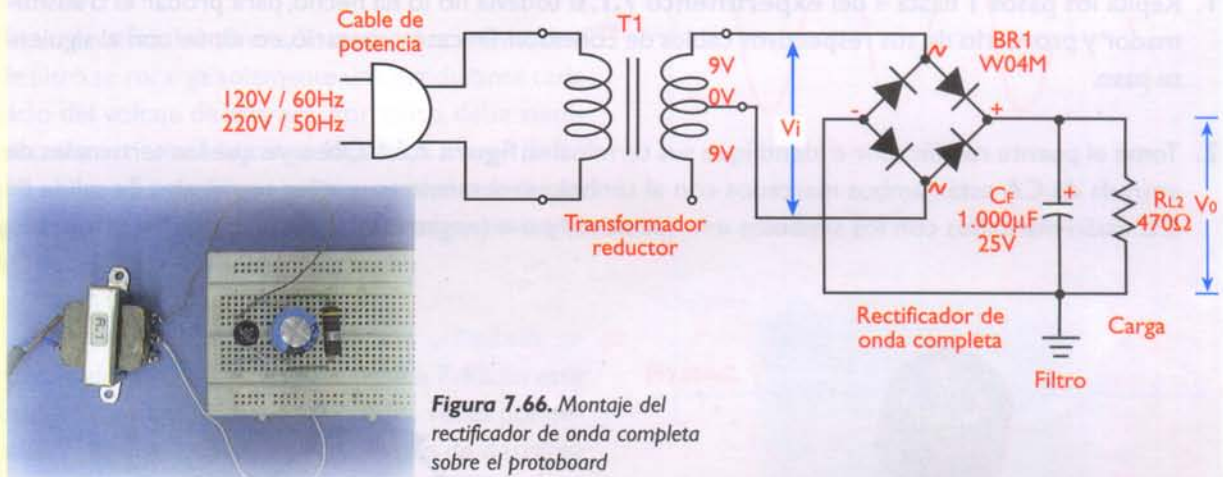


Figura 7.66. Montaje del rectificador de onda completa sobre el *proto-board*

5. Mida el valor rms del voltaje de CA entregado por el secundario del transformador (V_i), que es el mismo voltaje de entrada del puente rectificador, **figura 7.67**. Calcule el valor pico del mismo (V_{ip}). En nuestro caso obtuvimos $V_i = 9,49V$ (rms). Por tanto, $V_{ip} = \sqrt{2}V_i = 13,42V$



6. Mida el valor medio del voltaje de CC sobre la carga (V_o), que es el mismo voltaje de salida del rectificador o entre los terminales del condensador, **figura 7.68**. En nuestro caso, obtuvimos $V_o = 12,01$ V (práctico). El valor teórico esperado de este último, asumiendo una caída de 0V en el puente y una frecuencia de red de 60Hz, era $V_o = 13,28$ V.



Figura 7.68. Midiendo el voltaje de CC de salida



Figura 7.69. Medición del voltaje de salida del rectificador sin filtro

7. Retire ahora el condensador de filtro, **figura 7.69**. Mida nuevamente el valor del voltaje de CA de entrada (V_i) y del voltaje de CC de salida (V_o). En nuestro caso obtuvimos $V_i = 9,49$ V (rms) y $V_o = 7,38$ V (práctico). El valor teórico esperado de este último era 8,54 V

8. Reinstale ahora el condensador de filtro en su posición original y retire la resistencia de carga, **figura 7.70**. Mida nuevamente el valor del voltaje de CA de entrada (V_i) y del voltaje de CC de salida (V_o). En nuestro caso obtuvimos $V_i = 9,49$ V (rms) y $V_o = 13,42$ V (práctico). El valor teórico esperado de este último era $V_o = 12,02$ V



Figura 7.70. Medición del voltaje de salida del rectificador con filtro y sin carga

Carga RL	Filtro CF	Voltaje de salida V_o		
		Con RL y CF	Sin CF	Sin RL
470Ω	1.000μF			
470Ω	100μF			
470Ω	3300μF			
100Ω	1.000μF			
100Ω	100μF			
100Ω	3.300μF			

Figura 7.71. Tabla de resultados

9. Repita los pasos 7, 8 y 9 con las demás combinaciones de resistencias de carga (RL) y de condensadores de filtro (CF), relacionados en la lista de materiales. Llene entonces una tabla como la mostrada en la **figura 7.71**, donde aparecen registrados los valores del voltaje de salida (V_o) medidos bajo diferentes condiciones. Derive sus propias conclusiones.

10. El comportamiento del circuito anterior puede ser también analizado con la ayuda de un osciloscopio. Este último nos permitirá, además, observar y medir el voltaje de rizado. En la **figura 7.72** se observan las formas de onda obtenidas para algunas de las condiciones de operación indicadas en la tabla de la figura 7.71. También se indican algunas medidas de voltaje y de tiempo importantes.

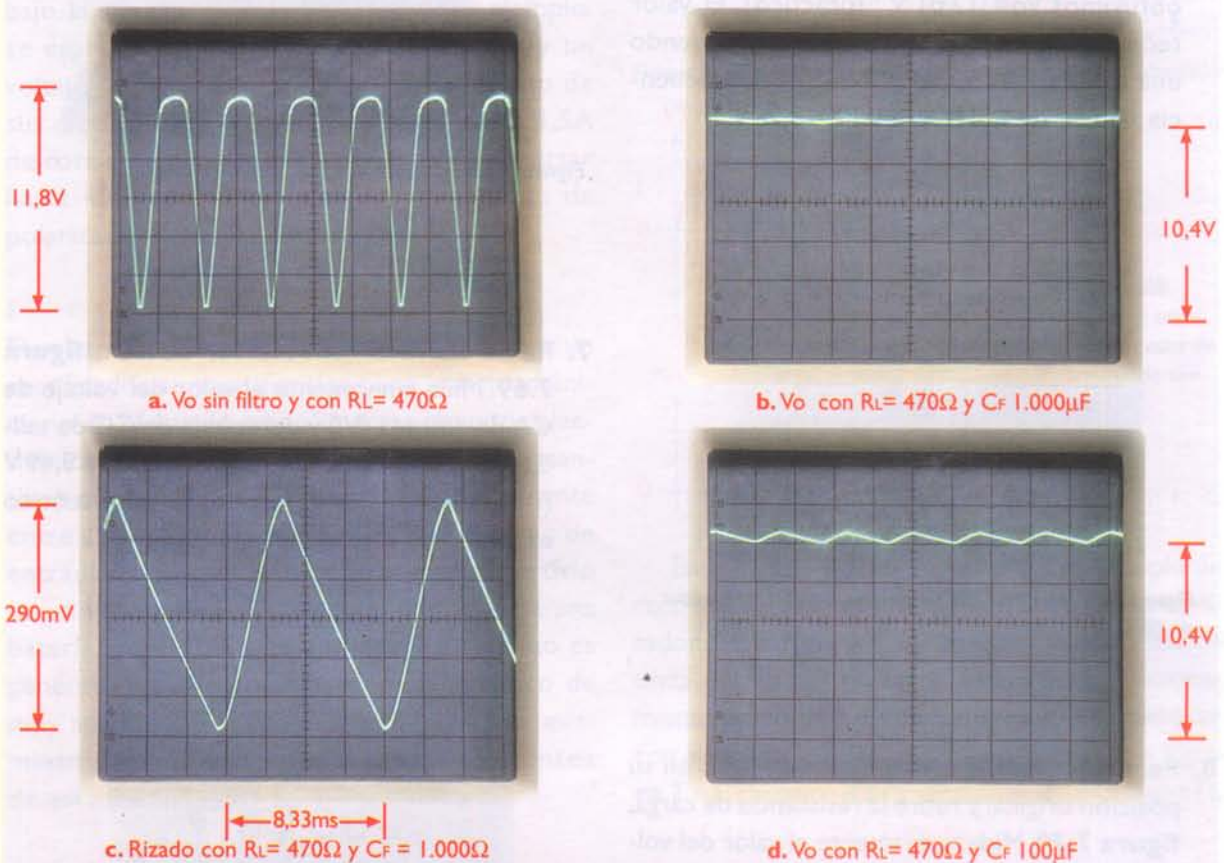


Figura 7.72. Observando las formas de onda en un osciloscopio

Conclusiones

1. El valor medio del voltaje de salida de un rectificador aumenta a medida que lo hace el valor del condensador de filtro. Esto se debe a que disminuye el valor pico a pico del voltaje de rizado, el cual es inversamente proporcional a la capacidad.
2. El valor medio del voltaje de salida de un rectificador aumenta a medida que lo hace el valor de la resistencia de carga. Esto se debe a que disminuye el valor pico a pico del voltaje de rizado, el cual es directamente proporcional a la corriente de carga e inversamente proporcional a la resistencia de la misma.
3. El efecto neto del condensador de filtro a la salida de un rectificador es convertir el voltaje de CC pulsante en un voltaje de casi uniforme, caracterizado por unas pequeñas variaciones periódicas de amplitud que constituyen la señal de rizado.
4. El rizado en el voltaje de salida de un rectificador con filtro se debe a los procesos de carga y descarga del condensador. La magnitud de estas variaciones depende, directamente de la corriente de carga e inversamente de la capacidad del filtro. En el caso de un rectificador de onda completa, la frecuencia del rizado es igual al doble de la frecuencia del voltaje de CA de entrada.

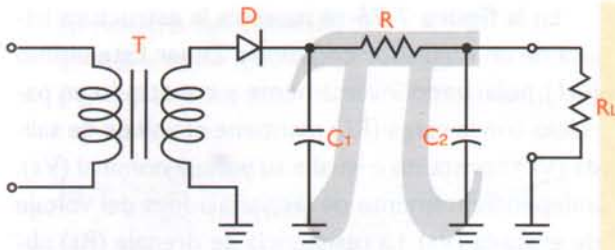


Figura 7.73. Rectificador de media onda

Otros tipos de filtros

Los voltajes rectificados en media onda son más difíciles de filtrar que los rectificados en onda completa, debido a que requieren condensadores de muy alta capacidad para compensar la ausencia de voltaje durante la mitad de cada ciclo y mantener el rizado dentro de límites razonables. Una alternativa, en estos casos, es utilizar un circuito como el mostrado en la **figura 7.73**, formado por dos condensadores (C_1 y C_2) y una resistencia (R) conectados de tal forma que recuerdan la letra griega phi (π). Por esta razón se denomina un filtro π .

La idea básica de un filtro pi es conseguir que la mayor parte del rizado aparezca sobre la resistencia en serie (R) en lugar de hacerlo sobre la resistencia de carga (R_L). De este modo se atenúan considerablemente las variaciones del voltaje de salida. La principal desventaja de este tipo de filtro es la caída de voltaje que se presenta sobre la resistencia. Por esta razón, solo es adecuado para cargas que exigen muy poca corriente. En algunos casos, la resistencia R se sustituye por una bobina, con lo cual se minimiza la caída de voltaje y se mejora la acción de filtrado.

Fuentes de alimentación reguladas

Como hemos visto, es posible reducir el rizado en

el voltaje de salida de un rectificador a cualquier nivel deseado utilizando un condensador de filtro suficientemente grande. Sin embargo, esto no garantiza que el voltaje sobre la carga permanezca constante. De hecho, este último puede variar debido a otras causas, por ejemplo, las fluctuaciones en el voltaje de CA de entrada del transformador o los cambios en la resistencia de la carga. Para minimizar el efecto de estos factores y garantizar un voltaje de salida verdaderamente constante, la mejor solución es utilizar un regulador entre el filtro y la carga, **figura 7.74**. Las fuentes de alimentación con esta característica se denominan **fuentes reguladas**.

La idea básica del regulador en una fuente regulada es, por tanto, mantener constante el voltaje de salida, independientemente de las variaciones en el voltaje de entrada o en la corriente de la carga. El regulador puede estar conectado en serie o en paralelo con la carga y actúa esencialmente como una resistencia variable. En un regulador en serie, por ejemplo, si aumenta el voltaje de entrada, debe aumentar la resistencia del regulador para que el voltaje sobre la carga no cambie. Lo mismo sucede si disminuye la demanda de corriente.

Los reguladores de voltaje están basados en el uso de dispositivos activos como los diodos Zener, los transistores y los circuitos integrados. Estos últimos, denominados comúnmente reguladores **monolíticos**, son los más populares debido a su bajo costo, facilidad de uso y excelentes características de funcionamiento. Además, requieren de una mínima cantidad de componentes externos y normalmente están protegidos contra cortocircuitos, sobrecalentamiento y otras adversidades. Por

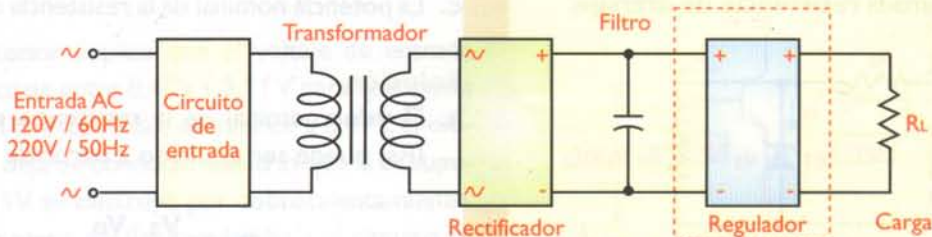


Figura 7.74. Estructura básica de una fuente de alimentación regulada

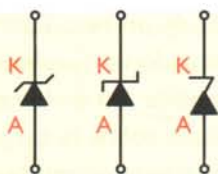


Figura 7.75. Símbolos de un diodo Zener

esta razón, a ellos dedicaremos la mayor parte de nuestra atención. Sin embargo, inicialmente revisaremos los aspectos básicos relacionados con los reguladores discretos, basados en diodos Zener y en transistores.

Reguladores de voltaje con diodo Zener

Un elemento regulador de voltaje muy común es el **diodo Zener**, figura 7.75. Estos diodos están especialmente diseñados para mantener un voltaje constante entre sus terminales, llamado voltaje Zener (V_z), cuando se polarizan inversamente, es decir, con una tensión positiva en el cátodo (K) y negativa en el ánodo (A). En condiciones de polarización directa o mientras la tensión inversa de entrada esté por debajo de V_z , un diodo Zener se comporta como un diodo rectificador común. Los diodos Zener se examinan en detalle en la sección de **Componentes** de este curso.

Los diodos Zener se especifican principalmente por su voltaje nominal (V_z) y la máxima potencia que pueden disipar (P_z). La relación entre P_z y V_z determina la máxima corriente inversa (I_{zmax}) que puede conducir el diodo sin sobrecalentarse. Por ejemplo, la máxima corriente inversa de un diodo Zener de 5,1V y 0,5W es $P_z/V_z = 0,5W/5,1V = 0,098A = 98$ mA. Si se sobrepasa esta corriente, el diodo puede destruirse. Para evitar que esto suceda, los diodos Zener deben ser protegidos mediante una resistencia en serie, llamada **resistencia de drenaje**.

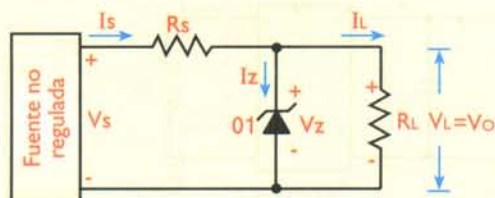


Figura 7.76. Regulador Zener básico con carga

En la **figura 7.76** se muestra la estructura básica de un regulador con diodo Zener. Este último (D1), polarizado inversamente y conectado en paralelo con la carga (R_L) mantiene el voltaje de salida (V_L) constante e igual a su voltaje nominal (V_z), independientemente de las variaciones del voltaje de entrada (V_s). La resistencia de drenaje (R_s) absorbe la diferencia entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida. Su valor se puede evaluar en forma aproximada mediante la siguiente fórmula:

$$R_s = \frac{V_s - V_o}{I_L + I_z}$$

siendo V_s (V) el voltaje de entrada del regulador, procedente del filtro, V_o (V) el voltaje de salida, igual al voltaje Zener (V_z), I_L (A) la corriente de carga máxima e I_z la corriente a través del diodo Zener. Esta última se escoge normalmente de modo que está entre el 10% y el 20% de la corriente máxima. Este tipo de circuitos proporcionan regulación de voltaje únicamente para un cierto rango de voltajes de entrada y de resistencias de carga. Por fuera de estos rangos, el diodo Zener puede bloquearse e incluso destruirse. El siguiente ejemplo aclarará estos conceptos.

Ejemplo 7.5. Se desea diseñar un regulador Zener de 5,1V para alimentar una carga de 5Ω a partir de una tensión de entrada de 9V. Para ello se utiliza un diodo Zener de 5,1V, 1W. Determine:

- El valor de la resistencia de drenaje. Asuma una corriente Zener igual al 10% de la corriente máxima.
- Los límites de variación del voltaje de entrada dentro de los cuales se mantiene la regulación. Asuma que la carga es constante.
- La potencia nominal de la resistencia de drenaje.

Solución.

- El valor nominal de la resistencia de drenaje (R_s) puede ser evaluado a partir de la fórmula

$$R_s = \frac{V_s - V_o}{I_L + I_z}$$

En nuestro caso, $V_s = 9V$, $V_o = 5,1V$,
 $I_L = V_o \div R_L = 5,1V \div 5\Omega = 1,02A$
 $e I_z = I_L \div 10 = 1,02V \div 10 = 0,102A$. Por tanto:

$$R_s = \frac{(9 - 5,1)}{(1,02 + 0,102)} = \frac{3,9}{1,122} = 3,48 \Omega$$

Puesto que el valor obtenido ($3,48 \Omega$) no es estándar, puede utilizarse una resistencia de $3,3 \Omega$, que es el valor comercial más próximo.

- b. Los valores mínimo y máximo del voltaje de entrada, entre los cuales el circuito mantiene regulado el voltaje de salida, pueden ser evaluados a partir de la fórmula $R_s = (V_s - V_o) / (I_L + I_z)$, despejando V_s y teniendo en cuenta que la corriente a través del diodo Zener (I_z) no puede ser superior a su valor máximo (I_{zm}) ni inferior a cero. Esto es:

$$V_s = (I_L + I_z) R_s + V_o$$

El valor mínimo de V_s se obtiene haciendo $I_z = 0$. Esto es:

$$V_{smin} = (I_L) R_s + V_o$$

El valor máximo de V_s , por su parte, se obtiene haciendo $I_z = I_{zm}$. Esto es:

$$V_{smax} = (I_L + I_{zm}) R_s + V_o$$

En nuestro caso, $I_L = 1,02A$, $R_s = 3,3 \Omega$, $V_o = 5,1V$ y $I_{zm} = P_z / V_z = 1W / 5,1V = 0,196A$. Por tanto:

$$V_{smin} = 1,02A \times 3,3\Omega + 5,1V = 8,47V$$

$$V_{smax} = (1,02A + 0,196A) \times 3,3 \Omega + 5,1V = 9,11V$$

Lo anterior implica que el voltaje de entrada puede fluctuar entre $8,47V$ y $9,11V$ para que exista regulación. Si este voltaje es inferior a $8,47V$, el diodo Zener deja de conducir, mientras que si es superior a $9,11V$ se destruye por sobrecalentamiento. En ambos casos, no hay regulación y el circuito se comporta como un divisor de voltaje ordinario.

- c. La potencia nominal mínima de la resistencia de drenaje puede ser evaluada a partir de la fórmula $P_s = (V_{smax} - V_o)^2 / R_s$ así:

$$P_s = \frac{(9,11V - 5,1V)^2}{3,3 \Omega} = 4,87W$$

Por tanto, como mínimo, debe utilizarse una resistencia de $3,3 \Omega / 5W$. En la práctica, por seguridad, debe escogerse una resistencia con una capacidad de potencia superior a este valor. De este modo, una resistencia de $3,3\Omega / 10W$ es más que apropiada.

Reguladores de voltaje con diodo Zener y transistor

Un diodo Zener sólo puede proporcionar regulación dentro de un rango limitado de voltajes de entrada o de corrientes de carga. Esto se debe a que la corriente a través suyo no puede exceder de un cierto valor límite. Para manejar altas corrientes con un diodo Zener, sin perder sus características de regulación, es necesario acoplarlo a un dispositivo activo que se encargue de transportar la corriente de la carga sin alterar el voltaje aplicado a ella. Esta función la puede efectuar un transistor bipolar, figura 7.77. Los transistores bipolares se examinan en detalle en la sección **Componentes** de este curso.

Un transistor bipolar es un dispositivo de tres terminales, llamados base (B), colector (C) y emisor (E), que se comporta como una fuente de corriente controlada por corriente. Esto significa que una corriente muy pequeña inyectada en la base (I_B) puede controlar el paso de una corriente muy grande entre colector y emisor (I_C). La relación entre I_C e I_B es fija y se denomina la ganancia de corriente del dispositivo. La misma se representa mediante el sím-

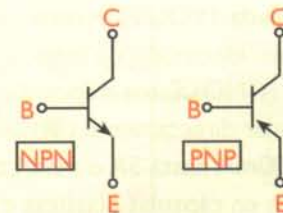


Figura 7.77. Símbolos (b) de transistores bipolares representativos

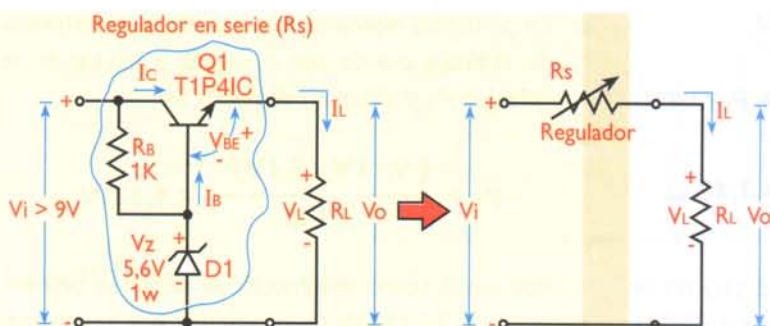


Figura 7.78. Regulador básico con transistor y diodo Zener. Con los valores de componentes indicados, este circuito entrega una tensión de salida (V_o) de 5V con una capacidad de corriente (I_L) superior a 1A. El transistor (Q1) debe estar provisto de un disipador de calor

bolo β (léase «beta»). Por tanto, $I_C = \beta I_B$. Esta característica puede ser aprovechada para regular el voltaje sobre una carga, como se ilustra en la **figura 7.78**

En este caso, el transistor (Q1) actúa como una resistencia variable, conectada en serie con la carga y controlada por la corriente de base (I_B), **figura 7.78** (b). El voltaje de salida (V_o) es igual a $V_z - V_{BE}$, siendo V_z el voltaje del Zener y V_{BE} la tensión entre la base y el emisor de Q1. Esta última es del orden de 0,7V. Si aumenta el voltaje de entrada (V_i), tiende a aumentar el voltaje de salida (V_o), pero esta tendencia es neutralizada automáticamente por Q1, el cual aumenta su resistencia entre colector y emisor para compensar el cambio y mantener así constante el voltaje de salida.

Fuentes de alimentación con reguladores de tres terminales

Actualmente, la mayor parte de las fuentes de alimentación prácticas se diseñan con reguladores de voltaje integrados o monolíticos, los cuales poseen solo tres terminales, **figura 7.79**: uno que recibe la tensión de entrada no regulada (V_{IN}), otro que entrega la tensión de salida regulada (V_{OUT}) y otro que actúa como electrodo de referencia o tierra (GND). Estos dispositivos pueden proporcionar directamente corrientes de carga desde 100mA hasta 5A o más. Los mismos se ofrecen en cápsulas plásticas o metálicas y son extremadamente populares debido a su bajo costo y facilidad de uso.

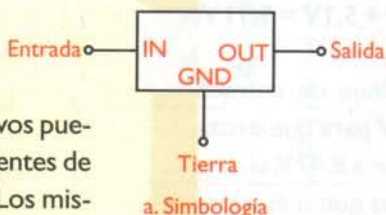
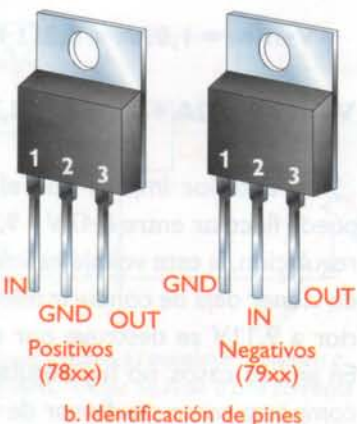


Figura 7.79. Reguladores fijos de tres terminales



Los reguladores de tensión monolíticos de tres terminales pueden ser fijos o ajustables, dependiendo de si entregan una tensión de salida fija o variable sobre un cierto rango. Ambos tipos, a su vez, pueden ser positivos o negativos, dependiendo de si entregan una tensión de salida positiva o negativa con respecto a su terminal de referencia. Las series comerciales más populares de cada clase, junto con sus ejemplos representativos, son las siguientes:

Reguladores fijos positivos: LM340-5 (5V); LM340-12 (12V); LM340-15 (15V); LM7805 (5V); LM7806 (6V); LM7808 (8V); LM7809 (9V); LM7812 (12V), LM7815 (15V); LM7818 (18V); LM7824 (24V); LM7830 (30V)

Reguladores fijos negativos: LM320-5 (-5V); LM320-12 (-12V); LM320-15 (-15V); LM7905 (-5V); LM7912 (-12V); LM7915 (-15V)

Reguladores ajustables positivos: LM317 (desde +1.2V hasta +37V); LM317HV (desde +1.2V hasta +57V); LM338 (desde +1.2V hasta +32V)

Reguladores ajustables negativos: LM337 (desde -1.2V hasta -37V); LM337HV (desde -1.2V hasta -47V); LM333 (desde -1.2V hasta -32V)

Además del voltaje o rango de voltajes de salida, otra especificación importante de los reguladores

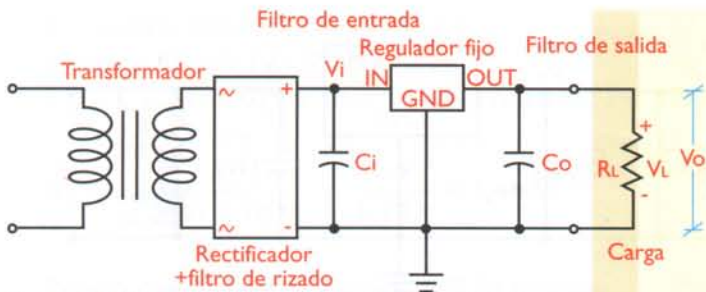


Figura 7.80. Estructura básica de una fuente regulada fija con regulador de tres terminales

de tres terminales es su capacidad de corriente. Esta última la determina el tipo de cápsula. En este curso trabajaremos principalmente con reguladores de 1A, los cuales se ofrecen en cápsulas plásticas T ó TO-220. Para corrientes más grandes (hasta 5A, inclusive) deben utilizarse reguladores de cápsula metálica K ó TO-3. Los reguladores mostrados en la **figura 7.79**, son de cápsula TO-220.

Fuentes reguladas fijas

En la **figura 7.80** se muestra la estructura básica de una fuente de alimentación con un regulador de tres terminales. Los condensadores C_i y C_o actúan, respectivamente, como filtros de desacople de entrada y de salida. Sus valores están, típicamente, en el rango de 0,1 μF a 1 μF . Se utilizan para desacoplar o eliminar señales de ruido presentes en la entrada o en la salida del regulador. Por esta razón, deben conectarse tan cerca de este último como sea posible. Para garantizar una óptima regulación, el voltaje de entrada (V_i) debe ser, por lo menos, 2,5V mayor que el voltaje de salida (V_o) deseado. De todas formas, este último no debe ser superior al valor máximo especificado por el fabricante.

Como puede verse, el diseño de fuentes de alimentación con reguladores fijos de tres terminales es extremadamente simple, ya que solo se requiere un par de pequeños condensadores de desacople, uno a la entrada y otro a la salida. Este último puede omitirse en muchos casos. En la **figura 7.81** se muestra como ejemplo una fuente regulada de +15V/1A con un re-

gulador LM7815T. La letra «T» al final de la designación indica que se trata de un regulador de 1A en cápsula TO-220. Las líneas punteadas alrededor del símbolo del regulador indican que el mismo debe estar provisto de un disipador de calor adecuado. Los disipadores de calor se examinan en la sección de **Componentes**.

Una fuente completa de 5V/1A con un regulador 7805, se presenta en la **figura 7.82**. Como regla práctica, el valor rms del voltaje de salida del transformador (9V, en este caso) debe ser, por lo menos, 3V mayor que el voltaje de salida deseado (5V, idem). Asimismo, la capacidad del condensador de filtro (C_1) debe escogerse de modo que sea, por lo menos, del orden de 1.000 μF por cada amperio de salida. Nuevamente C_2 y C_3 actúan como filtros de desacople de ruido. El diodo LED, protegido mediante R_1 , proporciona una indicación visual de la presencia de voltaje en la salida del regulador.

Las fuentes anteriores entregan un voltaje de salida de una sola polaridad (positiva, en este caso). Muchos circuitos electrónicos, sin embargo, requieren una fuente de alimentación dual o de doble polaridad, por ejemplo $\pm 15\text{V}$. Para ello, pueden utilizarse dos reguladores de tres terminales complementarios, es decir uno positivo y uno negativo, como se indica en la **figura 7.83**. En este caso, la derivación central del transformador actúa como tierra (GND). La salida «+» del puente rectificador proporciona el voltaje de entrada del regulador positivo (7815), mientras que la salida «-» proporciona el voltaje de entrada del regulador negativo (7915).

En otras ocasiones, la carga exige una corriente superior a la máxima que puede suministrar el regula-

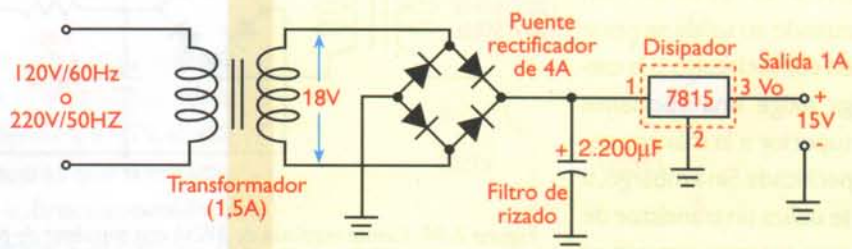


Figura 7.81. Fuente regulada de 15V/1A.

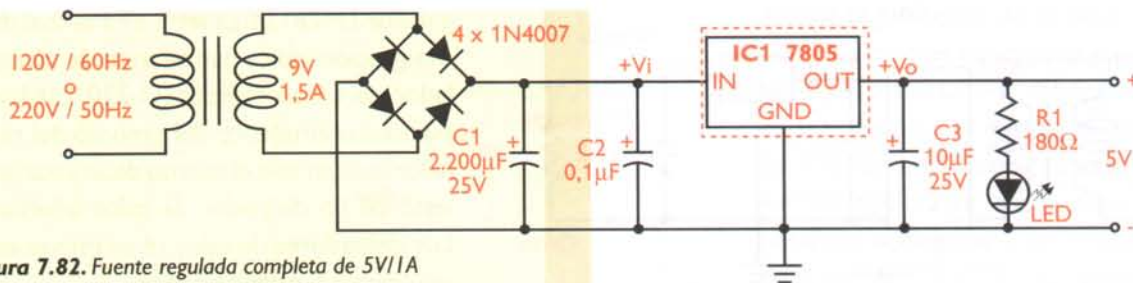


Figura 7.82. Fuente regulada completa de 5V/1A

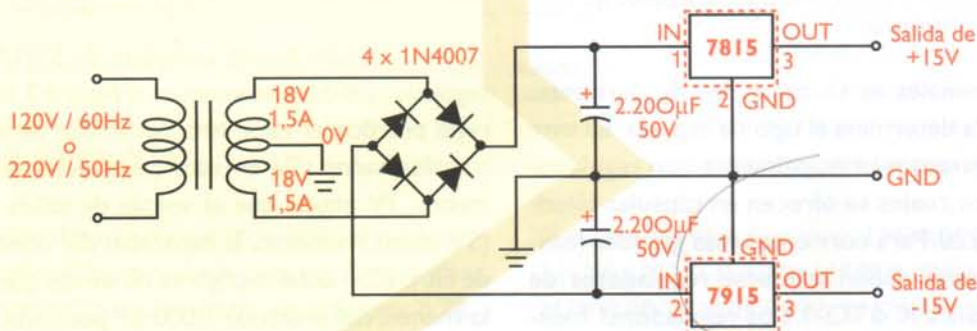


Figura 7.83. Fuente regulada dual fija de 15V/1A con reguladores de tres terminales complementarios

dor. En estos casos, debe utilizarse un transistor externo para transportar la corriente excedente, como se indica en la **figura 7.84**. La resistencia R1 se utiliza para detectar la corriente de entrada del regulador y, por tanto, la corriente de la carga. Cuando esta última es superior a 0,1A, el transistor Q1 conduce y transporta la corriente excedente. Por ejemplo, si la carga demanda 3A, el regulador entrega 0,1A y el transistor los 2,9A restantes. El voltaje sobre la carga lo determina el regulador. La máxima corriente de salida la determinan las potencias del transformador y el transistor de paso.

Otro factor muy importante que se debe tener en cuenta en el diseño de fuentes de alimentación, es la protección contra cortocircuitos y sobrecargas. Los reguladores de tres terminales, en particular, cuentan con un mecanismo interno de protección que evita su destrucción cuando su salida se pone en cortocircuito o la carga exige una corriente superior a la máxima especificada. Sin embargo, si se utiliza un transistor de paso externo, siempre es conveniente proteger

este último contra tales eventualidades. Una forma de conseguir esta protección, que hace uso de un transistor adicional, se muestra en la **figura 7.85**

En este caso, Q1 actúa como transistor de paso y Q2 como transistor limitador de corriente. Cuando la corriente exigida por la carga es superior a 3,5A, debido a una sobrecarga o un cortocircuito en la salida, entra en conducción Q2, bloqueando la circulación de corriente a través de Q1 y activando el circuito interno de protección de IC1. Como resultado, el circuito deja de regular, reduciendo el voltaje de salida a cero y limitando la

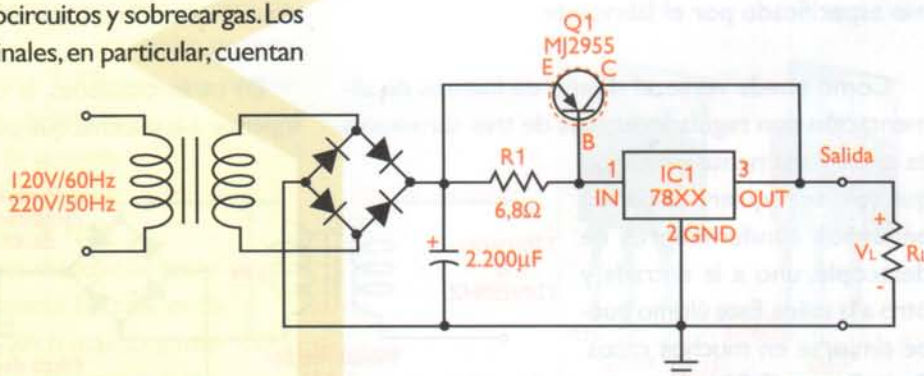
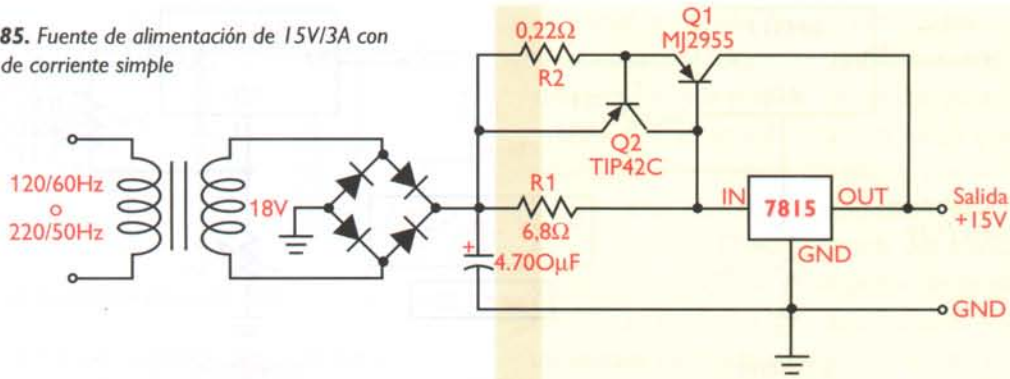


Figura 7.84. Fuente regulada de 5V/3A con transistor de paso externo. El transistor comienza a conducir cuando el voltaje entre emisor y base es del orden de 0,7V. Esto equivale a una corriente de carga del orden de 100 mA.

Figura 7.85. Fuente de alimentación de 15V/3A con limitación de corriente simple



corriente de cortocircuito a 1A, que es la máxima permitida por el regulador.

Fuentes de alimentación reguladas variables

Los reguladores examinados anteriormente entregan un voltaje de salida fijo, limitado a los valores estándar comercialmente disponibles (5V, 6V, 8V, 12V, etc.). Cuando se requiere de otros voltajes específicos, digamos 3,25V, la mejor alternativa es utilizar reguladores de tres terminales ajustables, **figura 7.86**. Estos dispositivos pueden ser fácilmente programados o configurados para suministrar cualquier voltaje de salida deseado dentro de un rango especificado de valores. Los reguladores ajustables más comunes son los de las series **LM317** (positivos) y **LM337** (negativos).

En la **figura 7.87** se muestra la estructura básica de una fuente de alimentación variable, desarrollada alrededor de un regulador ajustable de tres terminales. Los condensadores de entrada (C_i) y de salida (C_o) cumplen la misma función que en un regulador fijo. El voltaje de salida (V_o) depende de la relación entre las resistencias R_2 y R_1 . Para el LM317 y su complemento, el LM337, este voltaje está dado por la siguiente fórmula, válida en el rango desde 1,25V hasta 37V:

$$V_o = 1,25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Típicamente, R_1 es del orden de 240 Ω (valor recomendado). En la **figura 7.88** se muestran los circuitos básicos de utilización del LM317 y el LM337. Con los valores de componentes indicados, el voltaje de salida (V_{OUT}) es variable, aproximadamente, desde 1,25V ($R_2=0$) hasta 27V ($R_2=5k$). Para que esto sea posible, el voltaje de entrada (V_{IN}) debe estar siempre, como mínimo, 3V por encima del voltaje de salida deseado. La máxima capacidad de corriente de estos reguladores es del orden de 1,5A en su versión

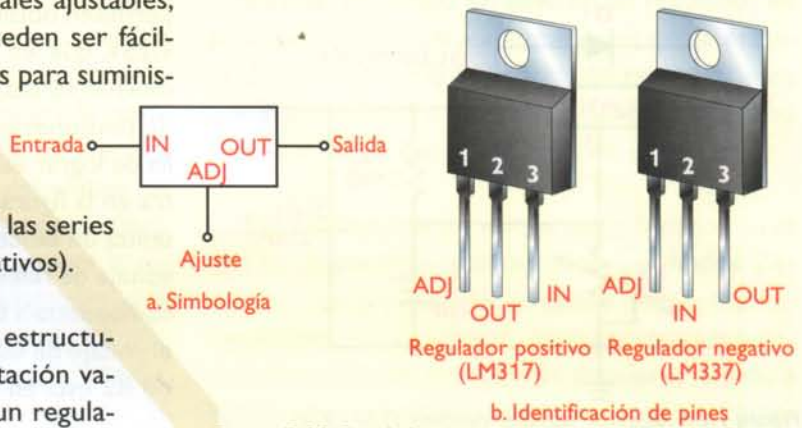


Figura 7.86. Reguladores ajustables de tres terminales. El terminal de ajuste (ADJ) sustituye el terminal de tierra de los reguladores fijos

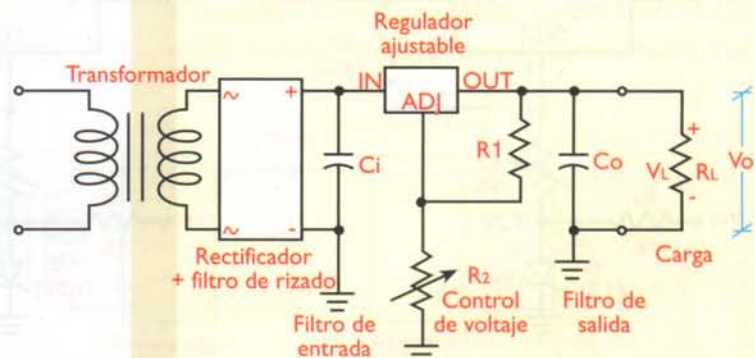


Figura 7.87. Estructura básica de una fuente regulada ajustable

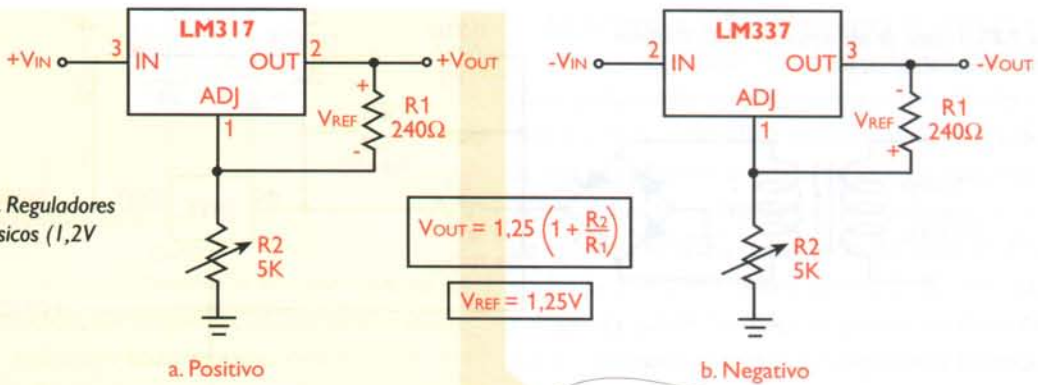


Figura 7.88. Reguladores ajustables básicos (1,2V hasta 27V)

de cápsula TO-220 (LM317T). También se dispone de una versión de baja corriente (LM317L), que entrega hasta 100 mA, y de una versión de alto voltaje (LM317HV), que admite hasta 57V de entrada.

La estructura básica anterior puede ser mejorada mediante la introducción de algunos componentes adicionales, como se muestra en la figura 7.89. En este caso, el condensador C1, conectado entre el terminal de ajuste (ADJ) y tierra, minimiza el rizado y

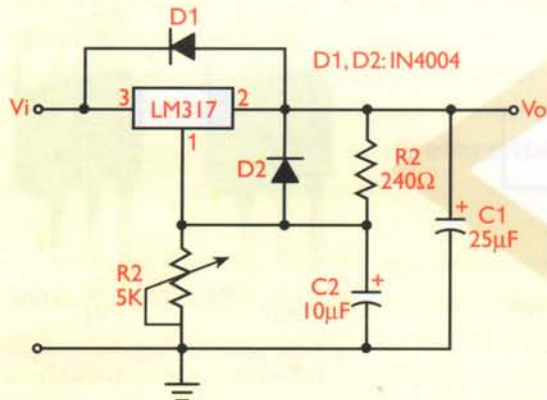


Figura 7.89. Regulador ajustable completo (12V - 27V)

provee una mayor inmunidad al ruido. Asimismo, los diodos D1 y D2 protegen el regulador, proporcionando un camino de baja resistencia para la circulación de las altas corrientes de descarga de C1 y C2, generadas cuando se suspende el voltaje de entrada. Este tipo de protección también es aplicable a los reguladores fijos. Nuevamente, el voltaje de salida lo determinan R2 y R1, como se explicó anteriormente.

Los reguladores ajustables LM317 y LM337 sólo permiten obtener voltajes de salida por encima de 1,25V, que es el valor interno de referencia. En muchas tareas, sin embargo, es deseable disponer de tensiones variables desde 0V. Una forma sencilla de lograr este modo de funcionamiento se ilustra en las figuras 7.90a y 7.90b. En ambos casos, se utiliza un diodo Zener (D1) para proporcionar un voltaje de referencia (Vz) de 1,25V, pero de polaridad opuesta a la del voltaje de salida. De este modo, el voltaje de salida es prácticamente igual a 0 cuando R2 está en su posición de mínima resistencia.

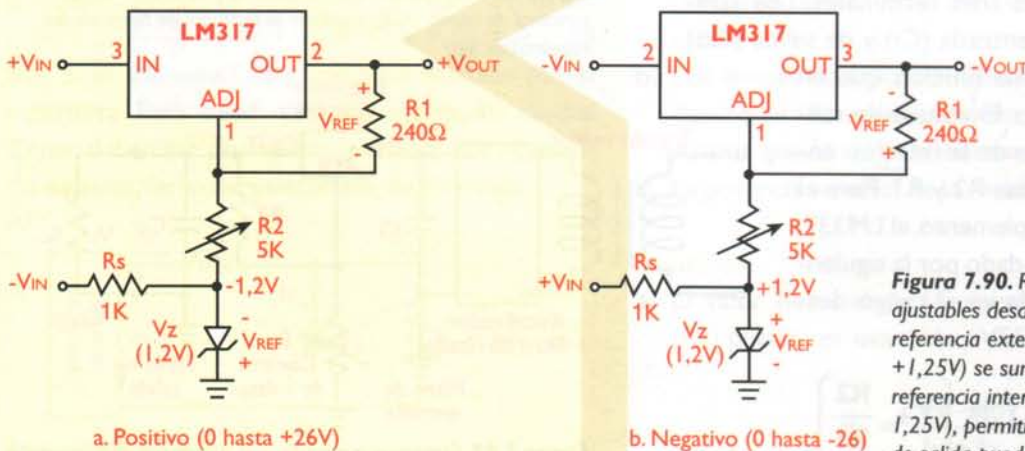


Figura 7.90. Reguladores ajustables desde 0V. El voltaje de referencia externo (-1,25V ó +1,25V) se suma con el voltaje de referencia interno (+1,25V ó -1,25V), permitiendo que el voltaje de salida pueda variarse desde 0V.

Experimento 7.4. Experimentando con reguladores de voltaje (voltage regulators) de tres terminales

Objetivos

1. Examinar el funcionamiento de una fuente de alimentación con regulador fijo
2. Examinar el funcionamiento de una fuente de alimentación con regulador ajustable
3. Evaluar el comportamiento de una fuente de alimentación regulada con y sin carga

Materiales necesarios

- 1 Regulador de tres terminales fijo de 5V (LM7805 o LM340-5) (IC1)
- 1 Regulador de tres terminales ajustable (LM317) (IC2)
- 1 Cable de potencia (PL1)
- 1 Transformador (MAGOM 504 o similar) (T1)
Primario: 120V o 220V
Secundario: 9V - 6V - 0V - 6V - 9V
Corriente: 450 mA
- 1 Puente rectificador de onda completa de 1A (W04M o similar)(BR1)
- 1 Condensador de 2.200 μ F/35V (C1)
- 1 Condensador de 0,22 μ F/50V (C2))
- 1 Condensador electrolítico de 1 μ F/25V (C3)
- 1 Condensador electrolítico de 10 μ F/25V (C4)
- 1 Resistencia de 100 Ω , 1/2W (RL1)
- 1 Resistencia de 47 Ω , 1W (RL2)
- 1 Resistencia de 220 Ω , 1/2W (RL3)
- 1 Resistencia de 220 Ω o 240 Ω , 1/2W (R1)
- 1 Resistencia de 1,2 k Ω , 1/2W (R2A)
- 1 Resistencia de 2,2 k Ω , 1/2W (R2B)
- 1 Resistencia de 470 Ω , 1/2W (R2C)
- 1 Resistencia de 820 Ω , 1/2W (R3)
- 1 LED de 20mA, cualquier color (D3)
- 1 Multímetro digital (DMM)

Procedimiento

1. Tome el regulador fijo (LM340-5 ó LM7805) e identifique sus terminales, **figura 7.91a**. Familiarícese también con la información impresa en la cápsula. Haga lo mismo con el regulador ajustable (LM317), **figura 7.91b**. En nuestro caso, por ejemplo, utilizamos un regulador LM340T5 de National. El prefijo «LM» identifica los circuitos integrados lineales de esta compañía. El número «340» indica que se trata de un regulador de voltaje fijo positivo. La letra «T» se refiere al tipo de cápsula (TO-220) y la capacidad de corriente (1A). El número «5» especifica el voltaje de salida nominal (5V). La cápsula también proporciona la fecha de fabricación y otros datos útiles.



Figura 7.91. Identificando los reguladores de tres terminales

2. Arme sobre el *protoboard* el circuito de la **figura 7.92**, correspondiente a una fuente regulada de 5V. Tenga en cuenta que C2 y C3 deben quedar tan cerca del regulador como sea posible. Antes de instalar la resistencia de carga (RL1), mida su valor real con el multímetro. Mida también el valor real de las otras resistencias de carga (RL2, RL3). En nuestro caso, los valores reales medidos en estas resistencias fueron $RL1=102\Omega$, $RL2=47\Omega$ y $RL3=217\Omega$.

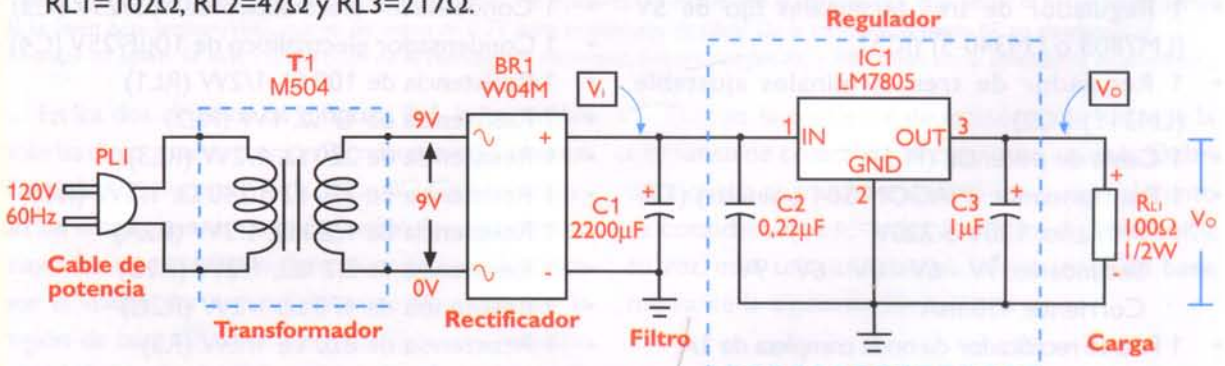
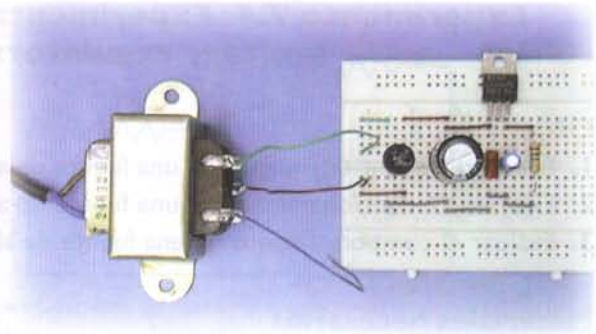


Figura 7.92. Ensamblaje de la fuente de +5V sobre el *protoboard*

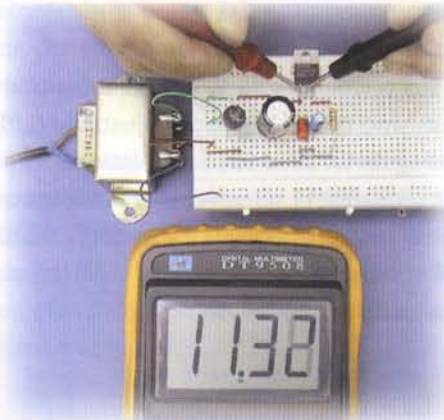


Figura 7.93. Midiendo el voltaje de entrada del regulador fijo

3. Con su multímetro configurado como voltímetro para CC, mida el voltaje de entrada del regulador (V_i), **figura 7.93**. En nuestro caso obtuvimos $V_i=11,32V$

4. Mida ahora el voltaje de salida (V_o), **figura 7.94**. Calcule entonces la corriente de carga (I_L) y la potencia disipada por el regulador (P_{REG}). Esta última es igual a $(V_i - V_o) \times I_L$. En nuestro caso obtuvimos $V_o=5,08V$. Por tanto, $I_L = 49,8\text{ mA}$ y $P_{REG} = 275\text{ mW}$. La máxima potencia que puede disipar por sí misma cualquier regulador de la serie LM340 en cápsula TO-220 es 2W. Para potencias mayores, debe utilizarse un disipador de calor, si esto no se hace, el dispositivo puede destruirse.



Figura 7.94. Midiendo el voltaje de salida del regulador fijo

- Retire la resistencia de carga (R_{L1}) y mida el voltaje de salida del circuito en condiciones de circuito abierto. Designe este voltaje como V_{oc} . Calcule entonces el porcentaje de regulación de voltaje del circuito (RV) mediante la siguiente fórmula:

$$RV(\%) = \left[\frac{V_{oc} - V_o}{V_{oc}} \right] \times 100$$

En nuestro caso obtuvimos $V_{oc}=5,083$ V. Por tanto, $RV=0,06\%$. Repita los pasos 4 y 5 utilizando primero una resistencia de carga de 47Ω (R_{L2}) y luego una resistencia de carga de 220Ω (R_{L3}). Calcule en cada caso el porcentaje de regulación. En nuestro caso, con $R_L=47 \Omega$ obtuvimos $V_o=5,07$ V y $V_{oc}=5,083$ V. Por tanto, $RV=0,26 \%$. Asimismo, con $R_L=220 \Omega$ obtuvimos $V_o=5,08$ V y $V_{oc}=5,083$ V. Por tanto, $RV=0,06 \%$. En todos los casos, el porcentaje de regulación estuvo por debajo del $0,3\%$, que es el máximo especificado para los reguladores de la serie LM340.

Nota: Idealmente, una fuente debería tener un porcentaje de regulación del 0% , es decir, entregar el mismo voltaje con o sin carga ($V_{oc}=V_o$). En la práctica, esto no siempre sucede debido a que toda fuente tiene una resistencia interna diferente de cero. Lo importante es que esta figura sea muy baja, digamos inferior al 1% .

- Arme ahora sobre el *protoboard* el circuito de la **figura 7.95**, correspondiente a una fuente regulada ajustable. Nuevamente, asegúrese que C2, C3 y C4 queden tan cerca del regulador como sea posible.

Antes de instalar las resistencias R1 y R2, mida sus valores reales con el multímetro. En nuestro caso, los valores reales medidos de estas resistencias fueron $R1=218 \Omega$ y $R2=1.197\Omega$. Al conectar la fuente a la red de potencia, debe iluminarse el LED D2, indicando la presencia de voltaje a la salida del regulador.

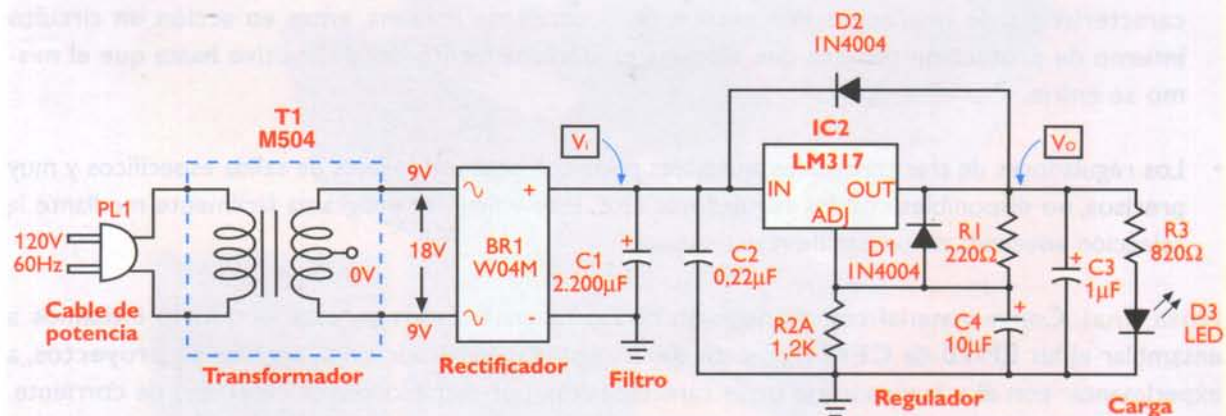
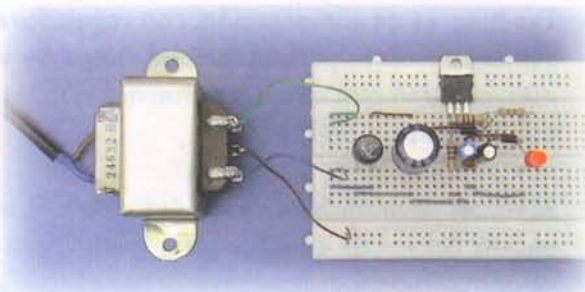


Figura 7.95. Montaje de la fuente ajustable sobre el protoboard

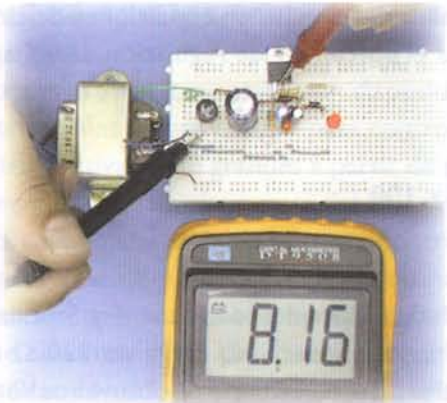


Figura 7.96. Midiendo el voltaje de salida de la fuente ajustable

3. Con su multímetro configurado como voltímetro para CC, mida el voltaje de salida de la fuente (V_o), figura 7.96. Compare este valor con el esperado teóricamente de acuerdo a la fórmula:

$$V_o = 1,25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

En nuestro caso, obtuvimos $V_o = 8,16 \text{ V}$ (medido) y $V_o = 8,11 \text{ V}$ (calculado). Por tanto, la fórmula anterior proporciona un grado de exactitud razonable. Repita este paso con otros valores de R_2 , por ejemplo $2,2 \text{ k}\Omega$ y 470Ω . En nuestro caso, con $R_2=2,2\text{k}\Omega$ obtuvimos $V_o = 13,83 \text{ V}$ (medido) y $V_o = 13,75 \text{ V}$ (calculado). Asimismo, con $R_2=470\Omega$ obtuvimos $V_o=3,94 \text{ V}$ (medido) y $V_o=3,92 \text{ V}$ (calculado).

8. Para finalizar, sustituya la resistencia R_2 por un puente de alambre (0). Mida entonces el voltaje de salida (V_o). En nuestro caso obtuvimos $V_o=1,257 \text{ V}$, ¿por qué?

Conclusiones

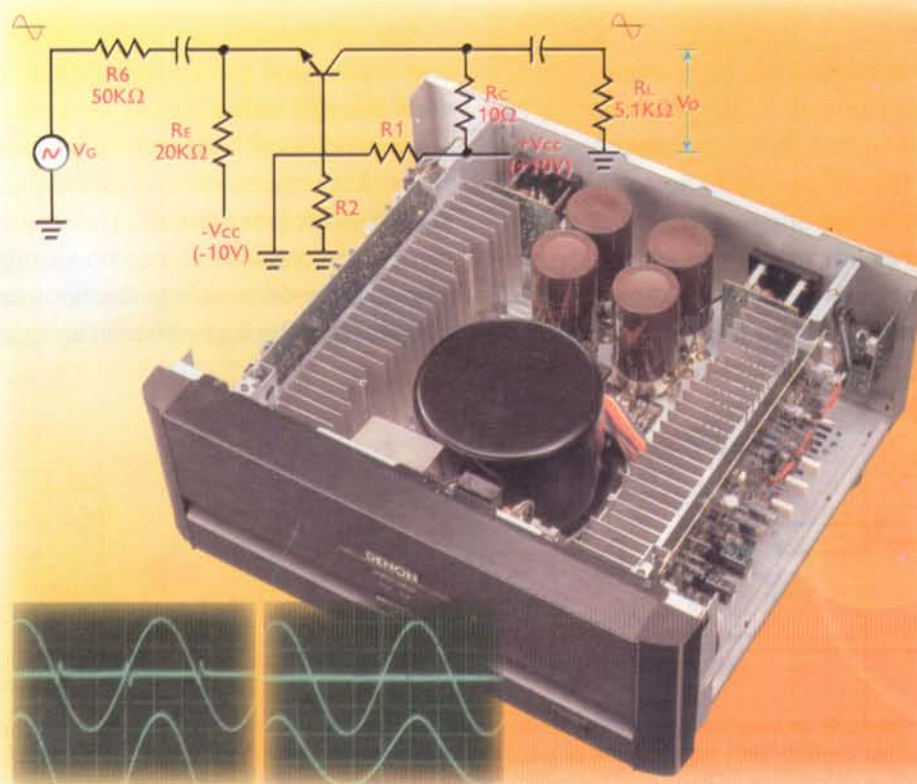
- Las fuentes de alimentación, con reguladores de tres terminales, proporcionan un voltaje de salida constante para un amplio rango de voltajes de entrada y de corrientes de carga. Además, cuentan con circuitos internos que las protegen automáticamente en caso de cortocircuitos y sobrecargas.
- El voltaje de entrada de un regulador de tres terminales debe estar, como mínimo, 2 o 3 voltios por encima del voltaje de salida para que la regulación sea eficiente. Asimismo, no debe ser superior al valor máximo especificado por el fabricante. Este último es del orden de 30 a 40 voltios.
- La corriente de salida suministrada por un regulador de tres terminales puede variar desde 0 (circuito abierto) hasta su valor máximo especificado, por ejemplo 1A, sin que esto afecte sus características de regulación. Por encima de la corriente máxima, entra en acción un circuito interno de protección térmica que bloquea el funcionamiento del dispositivo hasta que el mismo se enfríe.
- Los reguladores de tres terminales ajustables permiten obtener voltajes de salida específicos y muy precisos, no disponibles con los reguladores fijos. Este voltaje se programa fácilmente mediante la selección adecuada de un par de resistencias.

Nota final. Como material complementario de los temas tratados en esta lección, lo invitamos a ensamblar el kit **EF-10** de **CEKIT** (Fuente triple regulada), explicado en la sección de **proyectos**, a experimentar con él e incorporarle otras características, por ejemplo, mayor capacidad de corriente. **CEKIT** también ofrece otras fuentes de alimentación para distintos usos. Consúltenos.

Lección 8

Amplificadores y otros circuitos con transistores

Los transistores, discretos o integrados, son los componentes más importantes de la electrónica moderna y los ingredientes esenciales de todos los circuitos electrónicos. En esta lección examinaremos las características generales de los transistores bipolares y de efecto de campo, haciendo énfasis en su aplicación como amplificadores y como interruptores.



¿Qué son los transistores ?

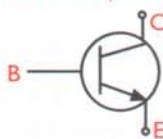
Los **transistores** (*transistors*) son dispositivos de tres terminales que se utilizan para controlar corrientes relativamente grandes a partir de señales de corriente o de voltaje muy débiles, actuando como resistencias o interruptores controlables electrónicamente, **figura 8.1**. Los circuitos que utilizan los transistores como resistencias variables se denominan **lineales** o **análogos**, y los que los utilizan como interruptores se denominan **digitales** o **lógicos**. La mayor parte de los circuitos electrónicos pertenecen a estas categorías.

Los transistores se fabrican no solamente como componentes discretos sino que forman parte vital de los **circuitos integrados** (*chips*), los cuales contienen miles o millones de ellos, construidos e interconectados sobre una diminuta pastilla de silicio. Son, por tanto, ingredientes esenciales de todos los circuitos electrónicos modernos, desde el más simple amplificador (*amplifier*) hasta la más sofisticada computadora.

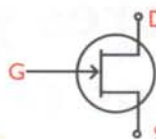
Tipos de transistores

Los transistores pueden ser básicamente de dos tipos: bipolares y unipolares. Los transistores **bipolares** se denominan también **transistores de unión** o **BJT** (*bipolar junction transistor*) y son dispositivos controlados por corriente. Los transistores **unipolares**, por su parte, se denominan también **transistores de efecto de campo** o **FET** (*field effect transistors*) y son dispositivos controla-

a) Transistor bipolar (NPN)



b) Transistor de efecto de campo de unión (JFET)



c) FET de compuerta aislada (MOSFET)

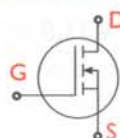


Figura 8.2. Símbolos comunes de transistores bipolares (a) y de efecto de campo (b, c). Los terminales de un transistor bipolar se denominan base (base) (B), colector (collector) (C) y emisor (emitter) (E), siendo la base (B) el terminal de control. Los terminales de un transistor de efecto de campo, por su parte, se denominan compuerta (gate) (G), drenador (drain) (D) y surridor (source) (S), actuando la compuerta (G) como terminal de control.

dos por voltaje. Dentro de cada una de estas categorías existen sus propias variantes. En la **figura 8.2** se muestran los símbolos utilizados para identificar algunos de estos dispositivos en los esquemas. En esta lección nos referiremos a los transistores bipolares simplemente como transistores.

Los transistores son componentes **activos**, lo cual implica que pueden **amplificar** potencia, es decir entregar más potencia de la que reciben. La potencia adicional la extraen de la fuente de alimentación. Los transistores son también componentes **semiconductores**, lo cual significa que pueden actuar como conductores o como aislantes. Para ello, en su fabricación se utilizan dos tipos de materiales, llamados N y P, que se obtienen agregando impure-

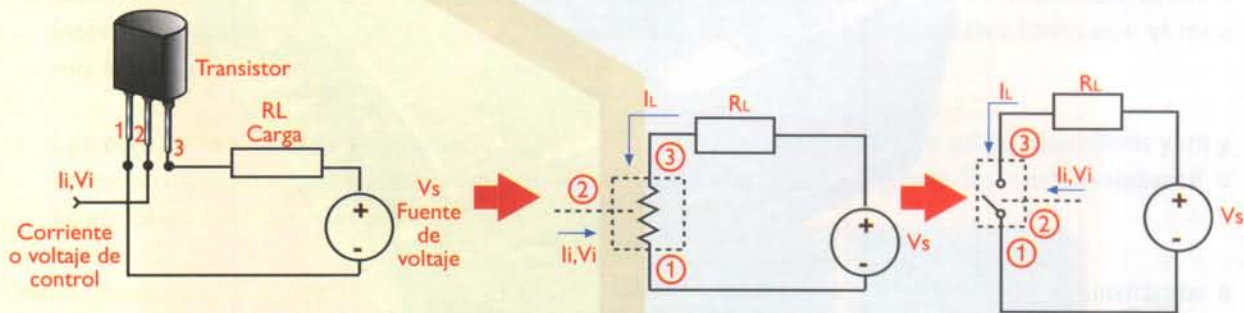


Figura 8.1. Acción básica de un transistor. Dependiendo de la cantidad de corriente o de voltaje que se aplique al terminal de control (2) circula más o menos corriente entre los terminales de salida (1 y 3), y, por tanto, a través de la carga. En este sentido, un transistor puede actuar como una resistencia o un interruptor controlable electrónicamente.

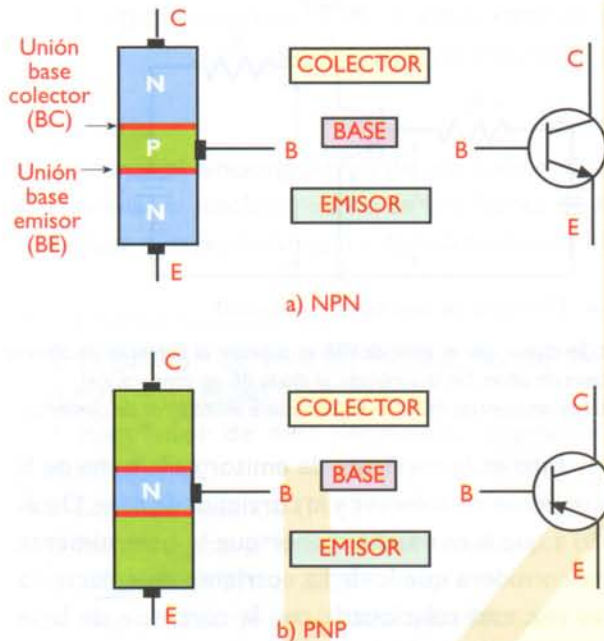


Figura 8.3. Estructura básica y símbolos de los transistores bipolares. La flecha indica la dirección de circulación de la corriente convencional o de huecos (cargas positivas), que es contraria a la de la corriente real o de electrones (cargas negativas).

zas a cristales de silicio puros. Este proceso se denomina **dopado**. Todos los dispositivos semiconductores son el resultado de la combinación de materiales tipo N y P en diferentes formas y con muy variados grados de dopado. La teoría de los semiconductores se estudia en la sección de **Componentes** de este curso.

Transistores bipolares

Un transistor bipolar es un dispositivo semiconductor de tres terminales formado por una capa muy delgada de material tipo N Ó P emparedada entre dos capas más gruesas de material del tipo opuesto. Esta disposición origina dos clases de transistores bipolares, uno llamado **NPN** y otro llamado **PNP**, como se muestra en la **figura 8.3**. Observe que la única diferencia entre los símbolos de ambos transistores es la dirección en que apunta la flecha del emisor: en un PNP la flecha entra (**penetra**), mientras que en un NPN la flecha sale (**no penetra**).

La región de la base está poco dopada en relación con el colector y el emisor. Esto significa que

tiene una concentración muy baja de portadores mayoritarios de corriente. La región de emisor, por su parte, está fuertemente dopada, de modo que la concentración de portadores mayoritarios supera ampliamente la de la base. Finalmente, la región de colector es muy amplia y tiene una alta concentración de portadores minoritarios en relación a la base, y muy pocos portadores mayoritarios en comparación con el emisor. En un transistor NPN, los portadores mayoritarios son electrones (cargas negativas) mientras que en un transistor PNP son huecos (cargas positivas).

Como funciona un transistor bipolar. Polarización (polarization)

Debido a la forma como se alternan las capas P y N en un transistor, se forman dos uniones PN, una entre base y emisor (BE) y otra entre base y colector (BC). Estas uniones actúan esencialmente como diodos (*diodos*). Para que el dispositivo opere correctamente, las mismas deben estar polarizadas de modo que la unión BE quede en polarización directa y la unión BC en polarización inversa. Lo anterior implica que en un transistor NPN, por ejemplo, el colector debe ser más positivo que el emisor y la base más positiva que el emisor, pero más negativa que el colector. Lo contrario se aplica a un transistor PNP. Esta situación se ilustra en la **figura 8.4**,

Antes de continuar, es importante resaltar la notación empleada en este circuito para designar los voltajes entre cualquier par de puntos o entre un punto y tierra. Esta nomenclatura es típica de todos los circuitos con transistores. En general, un voltaje entre cualquier par de terminales se designa mediante un doble subíndice. Por ejemplo, V_{BE} es el voltaje entre la base (B) y el emisor (E). Para especificar el voltaje entre cualquier terminal y tierra se utiliza un solo subíndice. Por ejemplo, V_C es el voltaje de colector (C) referido a tierra. Los voltajes de alimentación se designan mediante un subíndice repetido. Por ejemplo, V_{CC} es el voltaje de la fuente de alimentación asociada con el colector y V_{BB} el de la fuente asociada con la base.

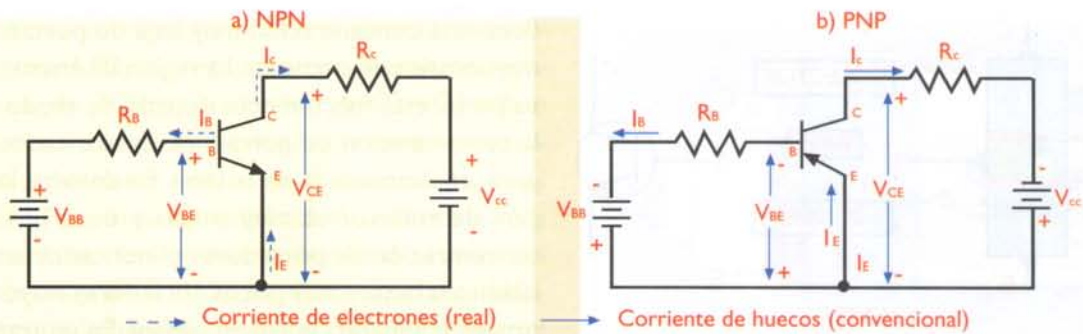


Figura 8.4. Circuitos básicos de polarización de transistores bipolares. Se asume que el valor de V_{BB} es superior al potencial de barrera de la unión base-emisor (V_{BE}), que es del orden de 0,7V para transistores de silicio. De lo contrario, el diodo BE no conduce y el transistor no opera. Se indica la dirección de la corriente de electrones. Las resistencias R_C y R_B actúan como limitadoras de corriente.

En los dos circuitos de la **figura 8.4**, la fuente V_{BB} polariza directamente la unión BE, mientras que la fuente V_{CC} polariza inversamente la unión BC. Como resultado de este esquema de polarización, los portadores mayoritarios en la región de emisor (E) son obligados por el voltaje V_{BB} a cruzar la unión BE y alcanzar la región de base (B). Una vez en la base, una pequeña cantidad (menos del 5%) se desvía hacia el circuito de entrada, atraída por el voltaje V_{BB} . El resto (más del 95%) atraviesan la unión BC y alcanzan la región de colector, donde son atraídos por el voltaje V_{CC} . Este efecto se denomina **acción transistor**.

Por tanto, en un transistor se desarrollan tres corrientes distintas, como se indica en la **figura 8.5**: una corriente de emisor (I_E), una corriente de base (I_B) y una corriente de colector (I_C). Estas tres corrientes están relacionadas mediante la siguiente fórmula:

$$I_E = I_C + I_B$$

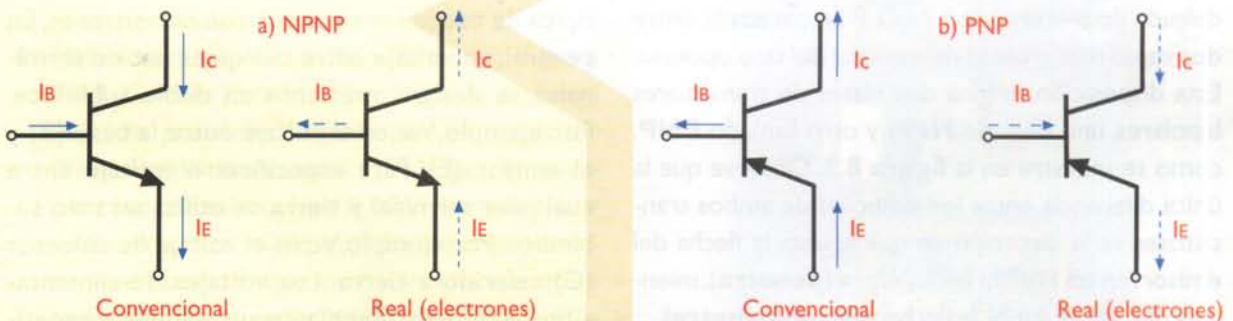


Figura 8.5. Corrientes en un transistor. Los huecos o cargas positivas, que son los portadores mayoritarios en un transistor PNP, se mueven en dirección de la corriente convencional. Los electrones o cargas negativas, que son los portadores mayoritarios en un transistor NPN, se mueven en dirección de la corriente real. Ambos tipos de corrientes son idénticos desde el punto de vista de sus efectos eléctricos. En lo sucesivo, adoptaremos el sentido convencional de la corriente.

Esto es, la corriente de emisor es la suma de la corriente de colector y la corriente de base. Debido a que I_B es mucho menor que I_C , normalmente se considera que $I_C = I_E$. La corriente de colector, a su vez, está relacionada con la corriente de base mediante la siguiente fórmula:

$$I_C = \beta I_B$$

siendo β (léase beta) un parámetro propio del transistor llamado la **ganancia de corriente**. Por ejemplo, si en el circuito de la **figura 8.4a**, la ganancia de corriente del transistor es $\beta = 100$ y la corriente de base es $I_B = 40 \mu A$, la corriente de colector es entonces $I_C = \beta I_B = 100 \times 40 = 4.000 \mu A$, es decir 4mA. Usando diferentes valores de V_{BB} y R_B se puede controlar fácilmente la débil corriente de base y, por tanto, la corriente de colector, que puede llegar a ser cientos de veces más grande. Esta última es la propiedad más importante de un transistor y la que lo hace útil como amplificador.

Curvas características de un transistor

La operación de un transistor puede ser también comprendida gráficamente a partir del análisis de sus **curvas características** de entrada y de salida, **figura 8.6**. La **característica de entrada**, **figura 8.6b**, muestra como se comporta la corriente de base (I_B) en función del voltaje base-emisor (V_{BE}). Es la misma de un diodo normal, lo que significa que solamente comienza a circular una I_B cuando V_{BE} alcanza el valor del potencial de barrera de la unión BE, que es del orden de 0,7V. A partir de entonces, V_{BE} crece muy lentamente. Para efectos prácticos, puede asumirse que V_{BE} permanece constante e igual a 0,7V.

La corriente de base (I_B) la establecen la fuente V_{BB} y la resistencia R_B . La misma se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{V_{RB}}{R_B}$$

siendo $V_{BB} - V_{BE} = V_{RB}$ la caída de voltaje sobre la resistencia de base (R_B). Por ejemplo, si $V_{BB} = 15V$ y $R_B = 150k$, entonces, asumiendo $V_{BE} = 0,7V$, tendríamos:

$$I_B = \frac{15V - 0,7V}{150k\Omega} = 6,67 \mu A$$

$$V_{RB} = 15V - 0,7V = 14,3V$$

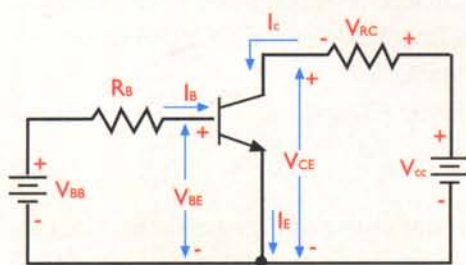
La característica de salida, por su parte, **figura 8.6c**, muestra como se comporta la corriente de

colector (I_C) en función del voltaje entre colector y emisor (V_{CE}) para un valor dado de la corriente de base (I_B). Observe que para valores de V_{CE} entre 0 y un cierto valor mínimo, la I_C crece rápidamente hasta un determinado punto. Esta parte de la curva se denomina **zona de saturación**. A partir de entonces, se mantiene constante, hasta un cierto valor máximo de V_{CE} . Esta parte de la curva se denomina **zona activa**. Por encima del V_{CE} máximo, el transistor se destruye. Esta región se denomina **zona de ruptura**. Un transistor nunca debe operarse por encima del valor máximo de V_{CE} .

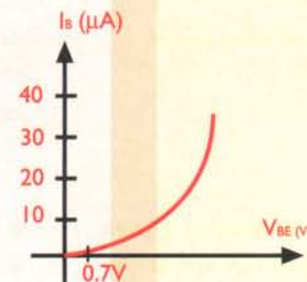
La zona activa es la más importante de un transistor. En ella, los cambios en la tensión V_{CE} no tienen efecto sobre la corriente I_C . En esta zona trabajan los amplificadores y demás tipos de circuitos análogos. Existe también una cuarta zona, no indicada en la **figura 8.6b**, llamada **zona de corte**, que se presenta cuando la corriente de base (I_B) es igual a cero. Bajo esta condición, a través del colector circula una corriente de fuga muy pequeña (I_{CEO}), debida a los portadores minoritarios (huecos en un transistor NPN y electrones en un PNP). Las zona de saturación y de corte son utilizadas por los circuitos digitales, como los empleados en las computadoras.

La tensión colector-emisor (V_{CE}) la establecen la fuente V_{CC} , la resistencia R_C y la corriente I_C . La misma se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

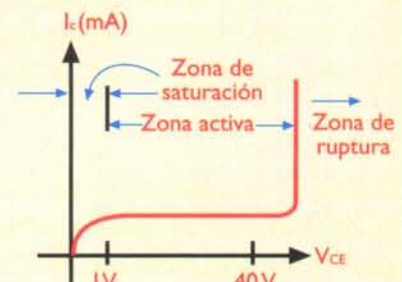
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - V_{RC}$$



a) Circuito básico de prueba



b) Curva característica de entrada



c) Curva característica de salida

Figura 8.6. Curvas de entrada y de salida de un transistor. Observe que el lado común o tierra de cada fuente está conectado al emisor. Por esta razón, el circuito se denomina una configuración en emisor común. Variando V_{BB} y V_{CC} se pueden establecer diferentes tensiones y corrientes en el transistor

siendo $I_C R_C = V_{RC}$ la caída de voltaje sobre la resistencia de colector (R_C). Por ejemplo, si $I_C = 2\text{mA}$, $R_C = 4,7\text{k}\Omega$ y $V_{CC} = 12\text{V}$, entonces:

$$V_{CE} = 12\text{V} - 2\text{mA} \times 4,7\text{k}\Omega = 2,6\text{V}$$

$$V_{RC} = 2\text{mA} \times 4,7\text{k}\Omega = 9,4\text{V}$$

Si se miden los valores de I_C y V_{CE} para diferentes valores de I_B , se obtiene una familia de curvas características de salida, como la mostrada en la **figura 8.7**. Este tipo de curvas, llamadas también **características de colector** en configuración emisor común, son muy importantes para analizar y diseñar circuitos amplificadores con transistores, como veremos más adelante. Las mismas son suministradas por los fabricantes de transistores en las hojas de datos de sus productos. También se pueden obtener utilizando un instrumento de laboratorio es-

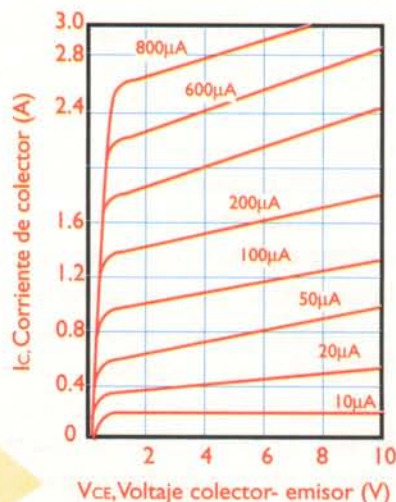


Figura 8.7. Curvas características de salida de un transistor típico.

pecializado llamado **trazador de curvas**. En el siguiente experimento aclararemos estos conceptos.

Experimento 8.1 Obtención de las curvas características de un transistor

Objetivos

- Obtener las curvas características de salida de un transistor a partir de datos experimentales
- Observar las curvas características de un transistor con el osciloscopio
- Familiarizarse con la polarización de un transistor
- Aprender a probar transistores
- Aprender a medir la ganancia de corriente de un transistor (b)

Equipos y materiales necesarios

- 1 Multímetro digital
- 1 Osciloscopio de 20MHz, dos canales
- 1 Batería o una fuente regulada de 9V (V_{BB})
- 1 Batería o una fuente regulada de 12V (V_{CC})
- 1 Transistor NPN 2N3904 o equivalente (Q1)
- 2 Potenciómetros de $5\text{k}\Omega$ (P1, P2)
- 1 Resistencia de $22\text{k}\Omega$, 1/2W (R_B)
- 1 Resistencia de 100Ω , 1/2W (R_{C1})
- 1 Resistencia de 220Ω , 1/2W (R_{C2})
- 1 Diodo rectificador 1N4004 o equivalente (D1)
- 1 Transformador (MAGOM M504 o equivalente)
Primario: 120V/60Hz o 220V/50Hz
Secundario: 9V
Corriente: 450mA

Información preliminar

El **2N3904** es un transistor NPN de propósito general. Puede ser utilizado como amplificador o como interruptor. Está especificado para una corriente máxima de colector (I_C) de 200 mA y un voltaje colector-emisor (V_{CE}) máximo de 40V. Su ganancia de corriente (β o h_{FE}) puede estar entre 40 y 300. Este parámetro varía mucho de un transistor a otro, aunque sean de la misma referencia y el mismo fabricante. La máxima potencia que puede disipar es de 625mW, lo cual implica que el producto $I_C \times V_{CE}$ debe mantenerse siempre por debajo de este valor.

En este experimento utilizaremos el transistor **2N3904** en la configuración **emisor común**, que es la más empleada en amplificadores. Este modo de conexión se denomina así porque el emisor es el terminal común a los circuitos de entrada y de salida.

Inicialmente, centraremos nuestro interés en analizar cuantitativamente como se comporta la corriente de colector (I_C) en función del voltaje colector-emisor (V_{CE}) para diferentes valores de la corriente de base (I_B). Los resultados obtenidos los representaremos en una gráfica, la cual corresponderá a una familia de curvas características de salida para este dispositivo particular. También aprenderemos un método para visualizar directamente estas curvas en un osciloscopio y derivar información a partir de ellas.

Procedimiento

1. Tome el transistor **2N3904**. Identifique la base (B), el colector (C) y el emisor (E), **figura 8.8a**. Observe la forma de la cápsula y los datos inscritos en ella.
2. Con su multímetro configurado como óhmetro o como probador de diodos, pruebe las uniones BE y BC en condiciones de polarización directa y en condiciones de polarización inversa, como se indica en las **figura 8.8b** y **8.8c** respectivamente. Deberá obtener una lectura de baja resistencia en el primer caso y de alta resistencia en el segundo, ¿por qué?. También deberá obtener una lectura de alta resistencia entre el co-

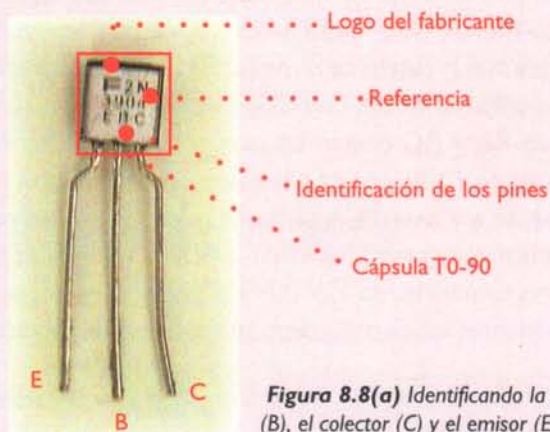


Figura 8.8(a) Identificando la base (B), el colector (C) y el emisor (E)

lector (C) y el emisor (E), con cualquier polaridad de las puntas de prueba, ¿por qué?.



Figura 8.8b. Prueba de las uniones BE y BC en polarización directa



Figura 8.8c. Prueba de las uniones BE y BC en polarización inversa



Figura 8.8d. Midiendo la ganancia de corriente

3. Si su multímetro posee la función de probador de transistores, mida también la ganancia de corriente (β o h_{FE}), como se muestra en la **figura 8.8d**. En nuestro caso obtuvimos $\beta=226$, que está dentro del rango de valores especificado para este dispositivo.

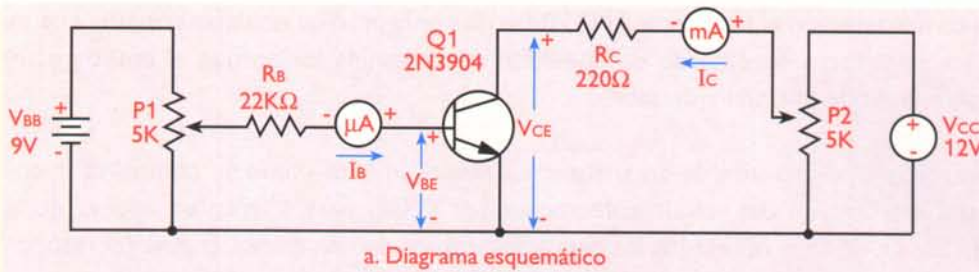


Figura 8.9 Circuito experimental para determinar las curvas características de salida del transistor

4. Arme ahora sobre el *protoboard* el circuito de prueba mostrado en la **figura 8.9**. En el lugar de los medidores de corriente (μA y mA), coloque puentes de alambre fácilmente removibles. Utilizaremos el potenciómetro P1 para fijar la corriente de base (I_B) y el potenciómetro P2 para fijar el voltaje colector-emisor (V_{CE}). Las resistencias R_B y R_C limitan las corrientes I_B e I_C a valores seguros. La fuente de alimentación de colector (V_{CC}) puede ser externa o, como en nuestro caso, construida sobre el mismo *protoboard* utilizando un regulador de tres terminales de 12V (LM340T12) y unos pocos componentes asociados, como se explicó en la **lección 8**.

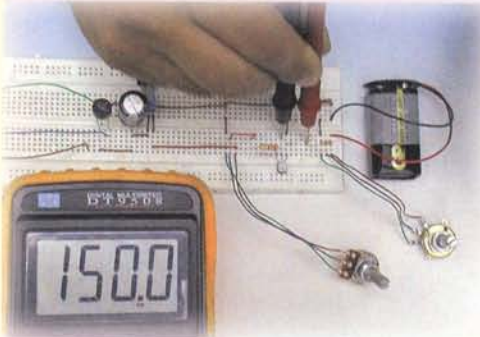
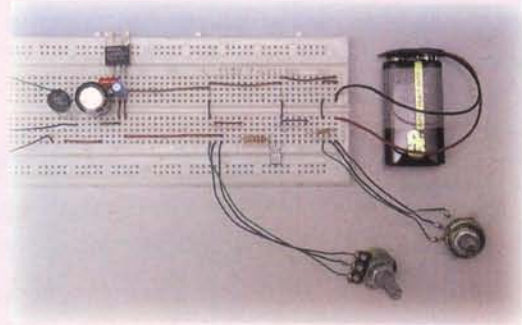


Figura 8.10a. Midiendo la corriente de base (I_B)

Retire el multímetro y reinstale el puente del circuito de base. Mida entonces el voltaje resultante entre base y emisor (V_{BE}), **figura 8.10(b)**. Anote los resultados obtenidos. En nuestro caso obtuvimos $V_{BE}=0,715\text{V}$ e $I_B=150\mu\text{A}$.

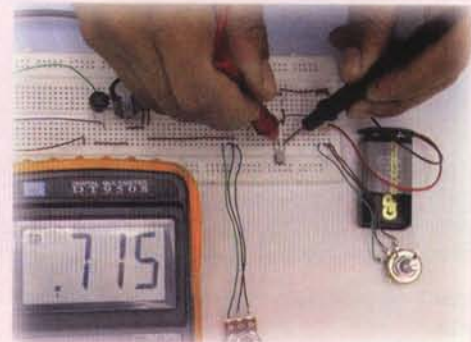


Figura 8.10b. Midiendo el voltaje base-emisor (V_{BE})

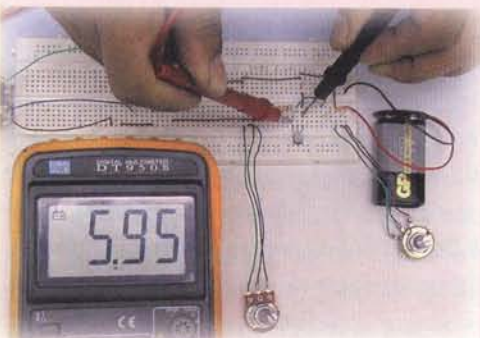


Figura 8.10c. Midiendo el voltaje colector-emisor (V_{CE})

5. Retire el puente del circuito de base e instale en su lugar el multímetro, configurado como microamperímetro, para medir la corriente de base (I_B). Gire lentamente el potenciómetro P1 hasta que la corriente de base (I_B) sea de $150\mu\text{A}$, **figura 8.10(a)**.

6. Con su multímetro configurado como voltímetro de CC, mida el voltaje entre colector y emisor (V_{CE}), girando lentamente el potenciómetro P2 hasta que la lectura sea de 6V o un valor muy próximo, **figura 8.10(c)**. En nuestro caso obtuvimos $V_{CE} = 5,95\text{V}$

Retire entonces el puente del circuito de colector e instale en su lugar el multímetro, configurado como miliamperímetro, para medir la corriente de colector (I_C), **figura 8.10(d)**. Anote los valores obtenidos. Hecho esto, retire el multímetro y reinstale el puente de colector. En nuestro caso obtuvimos $I_C=30,8$ mA para $V_{CE} = 5,95V$.

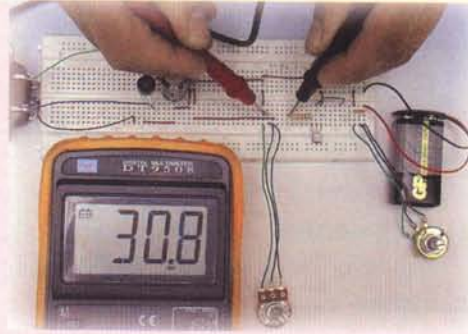


Figura 8.10d. Midiendo la corriente de colector

7. Repita el **paso 6** para diferentes valores de I_B , desde $250\mu A$ hasta $0\mu A$, en pasos de $50\mu A$. En cada caso, repita el **paso 7** para diferentes valores de V_{CE} , desde $12V$ hasta $0V$, en pasos de $2V$. Si es necesario, elimine la resistencia de colector (R_C) por un puente de 0Ω . Registre todos los resultados obtenidos en una tabla de datos como la de la **figura 8.11a**

	$V_{CE}=0V$		$V_{CE}=2V$		$V_{CE}=4V$		$V_{CE}=6V$		$V_{CE}=8V$		$V_{CE}=10V$		$V_{CE}=12V$	
I_B	I_C	V_{BE}	I_C	V_{BE}	I_C	V_{BE}	I_C	V_{BE}	I_C	V_{BE}	I_C	V_{BE}	I_C	V_{BE}
$0\mu F$														
$50\mu A$														
$100\mu A$														
$150\mu A$					30,8	0,715								
$200\mu A$														
$250\mu A$														

Figura 8.11a. Tabla de datos

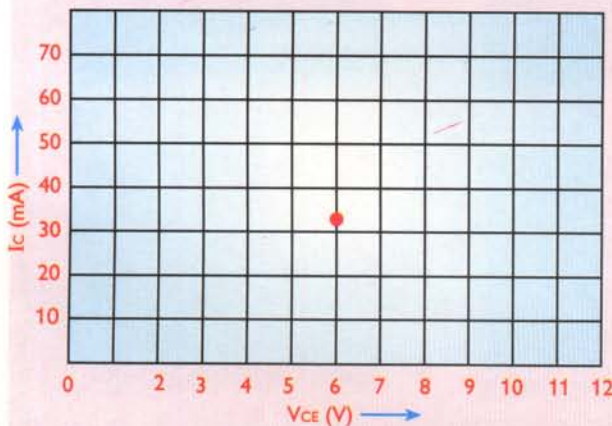


Figura 8.11b. Plantilla para graficar las curvas características de colector.

8. Utilizando los datos de la **tabla 8.11(a)**, dibuje para $I_B=150\mu A$ la curva característica de color correspondiente en una plantilla como la de la **figura 8.11(b)**. Para ello, represente cada pareja de valores de V_{CE} e I_C por un punto y luego una estos últimos mediante un trazo continuo. La gráfica obtenida es la curva solicitada. Identifíquela como $I_B=150\mu A$. Repita el mismo el mismo procedimiento para los otros valores de I_B registrados. Su resultado final será una **familia de curvas características de colector**, las cuales describen el comportamiento del transistor para una gran variedad de condiciones de funcionamiento del circuito. Derive sus propias conclusiones

9. Las curvas características de colector de nuestro transistor particular pueden ser también visualizadas en un osciloscopio de dos canales operando en el modo X-Y. Para ello, puede utilizarse un montaje como el de la **figura 8.12(a)**. En las **figuras 8.12(b)** hasta **8.12(f)** se aprecian algunos de las curvas obtenidas. En este caso, el canal X (entrada horizontal) monitorea el voltaje colector-emisor (V_{CE}), mientras que el canal Y (entrada vertical) monitorea el voltaje sobre la resistencia de colector (V_{TC}), el cual es directamente proporcional a la corriente de colector (I_C). Seleccionando unos factores de escala adecuados para estas entradas, pueden hacerse medidas de corriente y voltaje muy precisas.

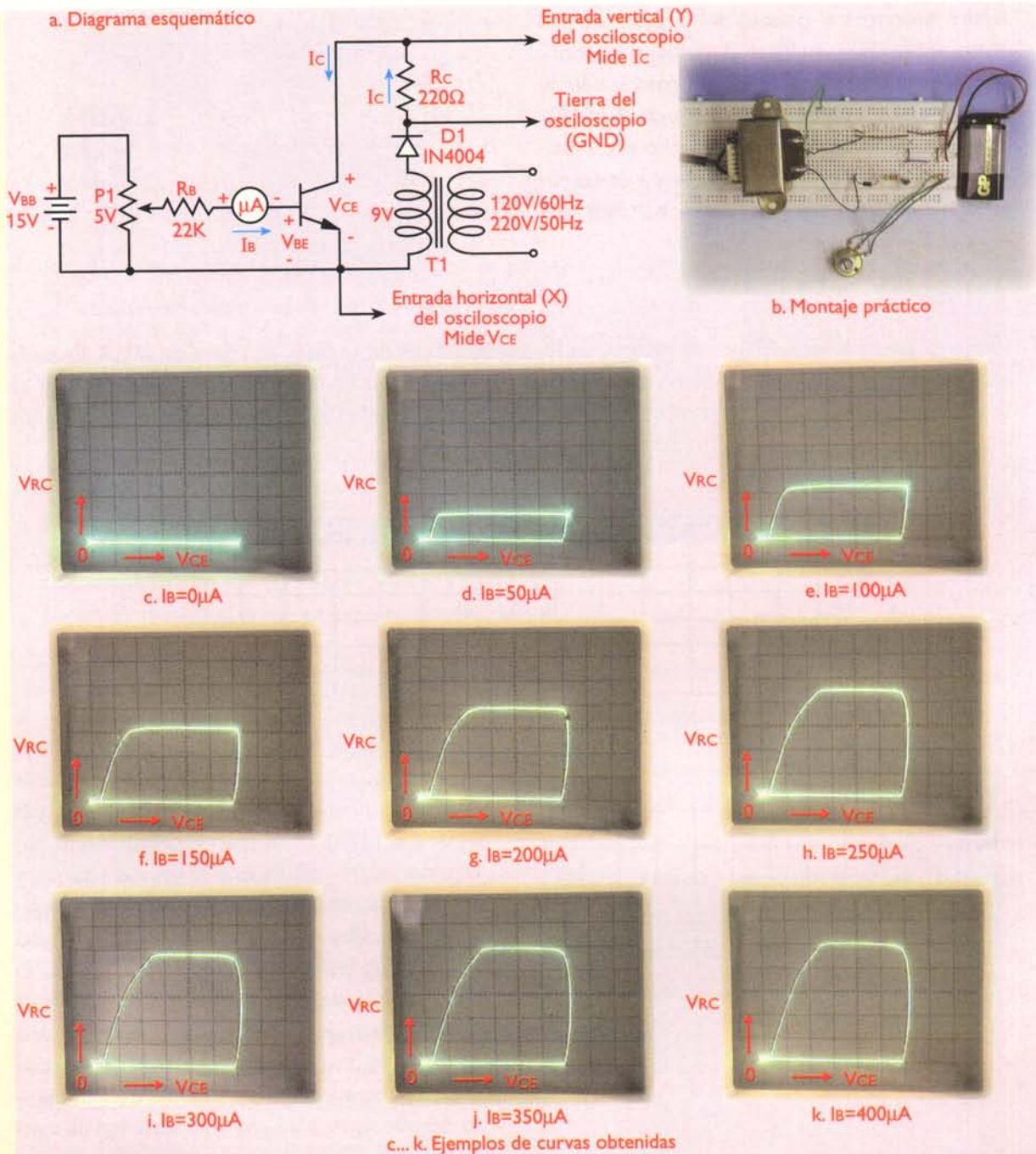


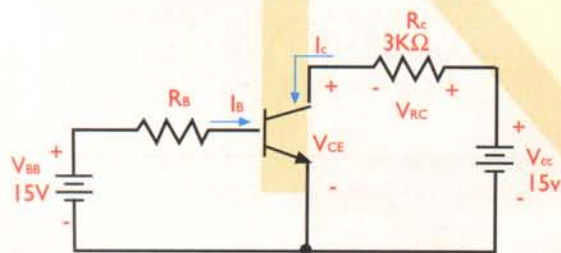
Figura 8.12. Visualizando las curvas características de salida en un osciloscopio. El efecto neto del rectificador de media onda formado por el diodo D1 y el secundario del transformador T1 es variar automáticamente el voltaje de alimentación de colector (VCC), y por tanto el voltaje colector-emisor (VCE) entre cero y un valor máximo (13V, aproximadamente). Este efecto se denomina un **barrido de voltaje**.

En nuestro caso, por ejemplo, utilizamos un factor de escala de 2V/división para el canal horizontal o X (VCE) y un factor de escala de 5V/división para el canal vertical o Y (VRC). Puesto que la resistencia de colector (RC) utilizada fue de 220Ω, lo anterior significa que cada división vertical corresponde a una corriente de colector (IC) de $1V/220\Omega = 4,55 \text{ mA}$. La corriente de base (IB) asociada a cada curva se obtiene variando el potenciómetro P1 y se mide igual que antes, es decir utilizando el multímetro como microamperímetro.

Concepto de recta de carga

Las curvas características de salida de un transistor, además de mostrar como varían la corriente de colector (I_C) y el voltaje colector-emisor (V_{CE}) en función de la corriente de base (I_B), pueden ser también utilizadas para visualizar el comportamiento del dispositivo bajo cualquier condición de carga. Para ello se utiliza un recurso gráfico llamado **recta de carga**, que es simplemente una línea recta, trazada sobre las curvas de salida, donde aparecen todos valores posibles que pueden adoptar I_C y V_{CE} para diferentes valores de I_B y bajo determinadas condiciones de V_{CC} y R_C . Este concepto se ilustra en la **figura 8.13**. En este caso, $V_{CC}=15V$ y $R_C=3k\Omega$.

Dependiendo del valor de R_B , I_B puede variar desde 0 hasta un valor máximo. Cuando $I_B=0$, el transistor no conduce y, por tanto, $V_{CE}=15V$ e $I_C=0$. Estos valores definen el extremo inferior de la recta de carga. A partir de un cierto valor de I_B , llega un momento en el cual el transistor está conduciendo al máximo y, por tanto, $V_{CE}=0$ e $I_C=5mA$. Estos valores definen el extremo superior de la recta de carga. Para valores intermedios de I_B , el transistor conduce parcialmente y V_{CE} e I_C adoptan valores intermedios, definidos por los puntos de intersección de la recta de carga con las



a) Circuito básico de prueba



b) Recta de carga

Figura 8.13. Ilustración del concepto de recta de carga. Otros valores de V_{CC} y R_C darán una recta de carga diferente

curvas de salida. Por ejemplo, cuando $I_B=30\mu A$, entonces $V_{CE}=6,2V$ e $I_C=3mA$.

El punto superior de la recta de carga, donde la misma corta el eje de I_C , se denomina **punto de saturación**. Igualmente, el punto inferior de la recta de carga, donde la misma corta el eje de V_{CE} , se denomina **punto de corte**. Estos puntos indican, en su orden, la máxima corriente de colector (I_{Cmax}) y la máxima tensión colector-emisor (V_{CEmax}) que pueden alcanzarse en el circuito (5mA y 15V, respectivamente, en nuestro caso). Para el circuito en emisor común de la **figura 8.13(a)**, los valores de I_{Cmax} y V_{CEmax} pueden ser calculados fácilmente a partir de las siguientes fórmulas:

$$I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$V_{CEmax} = V_{CC}$$

Una forma sencilla de visualizar estos resultados es considerando que el transistor se comporta entre colector y emisor como un **cortocircuito** en el punto de saturación y como un **circuito abierto** en el punto de corte. En el primer caso, $V_{CE}=0$ y, por tanto, toda la corriente de colector circula a través de R_C . Se dice entonces, que el transistor está **saturado**. En el segundo, $I_C=0$ y, por tanto, todo el voltaje de la fuente aparece a través del transistor. Se dice entonces, que este último está **cortado**. El siguiente ejemplo aclarará estos conceptos.

Ejemplo 8.1. Determine los puntos de corte y saturación de la recta de carga de un circuito como el de la **figura 8.13** con $R_C=4,7k\Omega$ y $V_{CC}=12V$. Dibuje la recta de carga obtenida sobre las curvas características de salida.

Solución. En el punto de corte, el transistor se comporta como un circuito abierto. Por tanto, la corriente de colector es cero y el voltaje colector-emisor es igual al voltaje de alimentación. Esto es:

Punto de corte

$$V_{CE} = V_{CC} = 12V$$

$$I_C = 0$$

En el punto de saturación, el transistor se comporta como un cortocircuito. Por tanto, el voltaje colector-emisor es cero y la corriente de colector es igual a la corriente a través de la resistencia de colector. Esto es:

Punto de saturación

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12V}{4,7k\Omega} = 2,55 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 0$$

La recta de carga correspondiente se muestra en la **figura 8.13c**

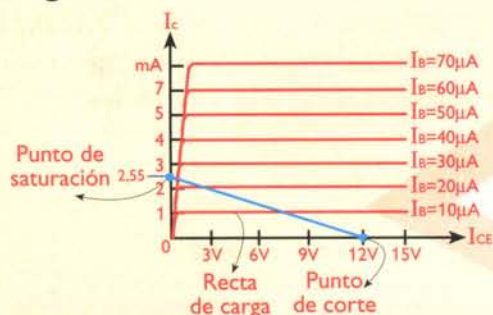


Figura 8.13c Recta de carga con $V_{CC}=12V$ y $R_C=4,7k\Omega$ (ejemplo 8.1)

Concepto de punto de trabajo

El objetivo de una recta de carga es permitir la identificación visual de los posibles **puntos de trabajo** de un transistor y la selección del más adecuado para una aplicación específica. Este último se indica mediante la letra **Q** (*quiescent*: reposo). Cada pareja de valores de I_C y V_{CE} asociados a un valor dado de I_B es un punto de trabajo posible. En la **figura 8.14** se ilustra este concepto. En este caso, el punto de trabajo **Q** corresponde a $V_{CE}=6V$, $I_C=3\mu A$ e $I_B=30\mu A$. Los puntos **QH** ($V_{CE}=1,5V$, $I_C=4,5mA$, $I_B=45\mu A$) y **QL** ($V_{CE}=10,5V$, $I_C=1,5mA$, $I_B=15\mu A$) son también puntos de trabajo posibles.

En amplificadores de baja señal, como los utilizados para amplificar señales provenientes de micrófonos, donde se requiere que la señal de salida sea una réplica ampliada, pero fiel, de la señal de entrada, sin ningún tipo de distorsión, la selección del punto de trabajo puede afectar sensiblemente la forma de onda de la señal de salida. En estos casos, como veremos más adelante, la mejor posición del punto de trabajo es en

el **centro** de la línea de carga, o cerca de él. De este modo se garantiza que el transistor siempre trabaje en la zona activa. Si el punto Q se escoge muy cerca del punto de saturación o del punto de corte, la señal de salida puede aparecer recortada o distorsionada.

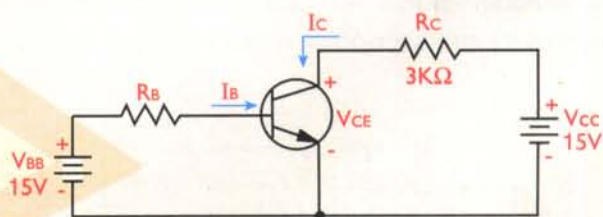
La corriente de base, la corriente de colector y el voltaje colector-emisor asociados con el punto de trabajo de un amplificador se designan generalmente, en su orden, como I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ} . Estos valores representan las condiciones de operación del circuito en condiciones de **reposo**, es decir sin señal de entrada aplicada. Una vez aplicada esta última, las corrientes y voltajes del circuito varían por encima y por debajo de sus valores de reposo, como veremos más adelante. Para el circuito en emisor común de la **figura 8.14a**, los valores de I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ} pueden ser evaluados a partir de las siguientes fórmulas:

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

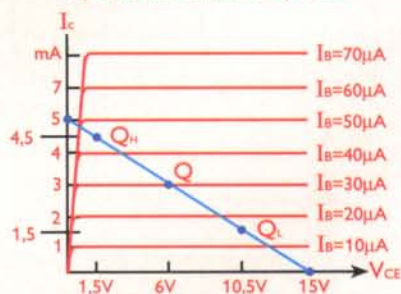
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C$$

siendo β o h_{FE} la ganancia de corriente y V_{BE} el voltaje base-emisor. El siguiente ejemplo aclarará el uso de estas fórmulas.



a) Circuito básico de prueba



b) Puntos de trabajo posibles con $V_{CC}=15V$ y $R_C=3k\Omega$

Figura 8.14. Ilustración del concepto de punto de trabajo. El punto **Q**, localizado en la parte central de la recta de carga, es más adecuado que los puntos **QH** y **QL**, especialmente si el circuito se utiliza para amplificar señales pequeñas

Ejemplo 8.2. Para un circuito como el de la **figura 8.14a**, determine el valor de la resistencia de base (R_B) necesario para conseguir que el punto de trabajo Q se localice, aproximadamente, en la mitad de la recta de carga cuando se utiliza una resistencia de colector (R_C) de $3,9k\Omega$. La ganancia de corriente del transistor es $\beta=100$. Dibuje la recta de carga del circuito sobre las curvas características de salida y especifique la ubicación del punto de trabajo.

Solución. Inicialmente debemos encontrar los puntos de corte y de saturación de la recta de carga para determinar el punto central de esta última, el cual, de acuerdo a los requisitos del problema, corresponde al punto de trabajo Q . En nuestro caso:

Punto de corte

$$V_{CEmax} = V_{CC} = 15V$$

$$I_C = 0$$

Punto de saturación

$$I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{15V}{3,9k\Omega} = 3,85mA$$

$$V_{CE} = 0$$

Puesto que el punto de trabajo Q debe estar en la mitad de la recta de carga, los valores correspondientes de I_C , V_{CE} e I_B en condiciones de reposo, son:

Punto de trabajo

$$I_{CQ} = \frac{I_{Cmax}}{2} = \frac{3,85mA}{2} = 1,925mA$$

$$V_{CEQ} = \frac{V_{CEmax}}{2} = \frac{15V}{2} = 7,5V$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{1,925mA}{100} = 19,25\mu A$$

El valor de R_B necesario para obtener una I_{BQ} de $19,25\mu A$ puede ser evaluado a partir de la fórmula $I_{BQ} = (V_{BB} - V_{BE})/R_B$. Despejando R_B , obtenemos:

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_{BQ}}$$

En nuestro caso, $V_{BB} = 15V$, $V_{BE} = 0,7V$ e $I_{BQ} = 19,25\mu A$. Por tanto:

$$R_B = \frac{15V - 0,7V}{19,25\mu A} = 0,743M\Omega = 743k\Omega$$

El valor comercial estándar más próximo es $R_B=750k\Omega$. La recta de carga y el punto de trabajo resultantes se muestran en la **figura 8.14c**, junto con los valores originales.



Figura 8.14c. Recta de carga y punto de trabajo con $R_C=3,9k\Omega$

Esquemas mejorados de polarización

En los circuitos de emisor común anteriores, el punto de trabajo (Q) depende, entre otros factores, del voltaje base-emisor (V_{BE}) y, principalmente, de la ganancia de corriente (β), los cuales hemos supuesto que son constantes. En la práctica, estos parámetros varían de un transistor a otro, incluso aunque sean de la misma referencia, debido a las tolerancias que se manejan en los procesos de fabricación. También son afectados por la temperatura y el envejecimiento. Todo esto causa que la ubicación del punto Q cambie y, por tanto, no sea confiable. Se dice, entonces, que el punto de trabajo es **inestable**.

Para minimizar el efecto de estos factores, es necesario **estabilizar** el punto de trabajo de un amplificador. Esto implica utilizar un esquema de polarización donde los valores de corriente y vol-

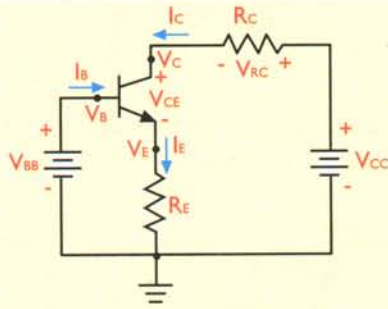


Figura 8.15. Polarización de emisor. La resistencia de emisor (R_E) estabiliza el punto de trabajo Q y lo hace prácticamente inmune a las variaciones de la ganancia de corriente, que son muy comunes cuando se cambia un transistor por otro, incluso de la misma referencia.

taje del circuito, en condiciones de reposo, no dependan de la ganancia de corriente del transistor, que es generalmente imprevisible, sino que sean determinados por componentes externos sobre los cuales se puede tener un mayor control. Desde este punto de vista, los métodos de estabilización más empleados son la **polarización de emisor** y la **polarización por divisor de tensión**, que examinaremos enseguida.

Polarización de emisor

En la **figura 8.15** se muestra la estructura básica de un circuito amplificador con polarización de emisor. En este caso, la fuente de polarización de base (V_{BB}) se aplica directamente a la base, sin necesidad de resistencia de base, mientras que el emisor está puesto a tierra a través de una resistencia (R_E). Esta última, encargada de establecer una corriente de emisor (I_E) fija, es la responsable de estabilizar el punto de trabajo del transistor e independizarlo razonablemente de las variaciones en la ganancia de corriente. Para determinar el punto Q del circuito, podemos seguir los siguientes pasos:

1. Determinamos el voltaje entre emisor y tierra (V_{EQ}). Este voltaje es simplemente la diferencia entre la tensión de polarización de base ($V_{BB}=V_B$) y la tensión base-emisor (V_{BE}), la cual asumiremos, como antes, que es prácticamente constante e igual a 0,7V. Recuerde que utilizamos un solo subíndice para designar el voltaje

de un punto cualquiera con respecto a tierra. El subíndice Q indica que se trata de valores **estáticos**, es decir, en condiciones de reposo y sin señal aplicada. Por tanto:

$$V_{EQ} = V_{BB} - V_{BE}$$

2. Determinamos la corriente de emisor (I_{EQ}), que es prácticamente la misma corriente de colector (I_{CQ}). Puesto que la corriente I_{EQ} circula a través de la resistencia R_E y está última tiene conectado un voltaje V_{EQ} , podemos aplicar la ley de Ohm para encontrarla. Por tanto:

$$I_{EQ} = I_{CQ} = \frac{V_{EQ}}{R_E}$$

3. Determinamos el voltaje entre colector y tierra (V_{CQ}). Este voltaje es simplemente la diferencia entre la tensión de polarización de colector (V_{CC}) y la caída de voltaje en la resistencia de colector (V_{RCQ}). Esta última, a su vez, de acuerdo a la ley de Ohm, es el producto de la corriente I_{CQ} por la resistencia R_C . Por tanto:

$$V_{CQ} = V_{CC} - V_{RCQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C$$

4. Determinamos el voltaje entre colector y emisor (V_{CEQ}). Este voltaje es simplemente la diferencia entre el voltaje de colector (V_{CQ}) y el voltaje de emisor (V_{EQ}). Por tanto:

$$V_{CEQ} = V_{CQ} - V_{EQ}$$

Resumiendo, nuestro punto de trabajo Q , para el circuito de la **figura 8.15**, está dado por las siguientes dos ecuaciones:

$$V_{CEQ} = V_{CQ} - V_{EQ}$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{EQ}}{R_E}$$

Observe que en estas expresiones no interviene la ganancia de corriente (β) del transistor, con lo cual queda demostrado que el punto de trabajo es inmune a las variaciones de este pará-

metro. Si, por ejemplo, β se incrementa, la corriente I_C y el voltaje V_E tienden a aumentar. Puesto que el voltaje V_{BB} es constante, la tendencia de aumento de V_E causa que el voltaje V_{BE} y la corriente I_B tiendan a disminuir. Como resultado, las corrientes I_C e I_E tienden a disminuir, estabilizándose en sus valores iniciales. Por tanto, el punto de trabajo no cambia. Una situación similar se presenta cuando β disminuye.

En este caso, la tendencia de disminución de I_C es compensada por un aumento del voltaje V_{BE} , con lo cual aumenta la corriente I_B y por tanto la corriente I_C . Nuevamente, el punto de trabajo permanece estable. Este proceso se denomina una **realimentación de corriente**. Por la misma razón, este esquema se conoce también como **estabilización por corriente de realimentación**. El siguiente ejemplo aclarará el uso de las fórmulas anteriores para evaluar el punto de trabajo.

Ejemplo 8.3. Determine el punto de trabajo (V_{CQ} , I_{CQ}) para un amplificador con polarización de emisor como el de la **figura 8.15** con $V_{CC}=18V$, $V_{BB}=1,5V$, $R_C=10K$ y $R_E=1K$. Asuma $V_{BE}=0,7V$ y β variable entre 100 y 300.

Solución. Podemos seguir estos pasos:

1. Calculamos el voltaje de emisor (V_{EQ}):

$$V_{EQ} = V_{BB} - V_{BE} = 1,5V - 0,7V = 0,8V$$

2. Calculamos la corriente de emisor (I_{EQ}), que es prácticamente la misma corriente de colector (I_{CQ}):

$$I_{EQ} = I_{CQ} = \frac{V_{EQ}}{R_E} = \frac{0,8V}{1K} = 0,8 \text{ mA}$$

3. Calculamos el voltaje de colector (V_{CQ}):

$$V_{CQ} = 18V - (0,8mA \times 10K) = 18V - 8V = 10V$$

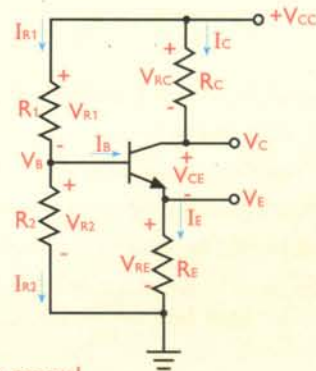
4. Calculamos el voltaje colector-emisor (V_{CEQ}):

$$V_{CEQ} = 10V - 0,8V = 9,2V$$

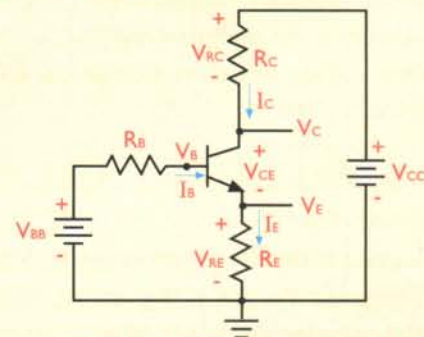
Por tanto, el punto de trabajo (**Q**) de este amplificador es $V_{CEQ} = 9,2V$ e $I_{CQ} = 0,8mA$

Polarización por divisor de tensión

La polarización de emisor, examinada anteriormente, proporciona una alta inmunidad del punto de trabajo con respecto a las variaciones en la ganancia del transistor. Sin embargo, requiere de dos fuentes de alimentación independientes: una para polarizar el circuito de base (V_{BB}) y otra para polarizar el circuito de colector (V_{CC}). Si solo se dispone de una fuente, como es el caso de la mayoría de sistemas electrónicos, la mejor opción es utilizar un **divisor de tensión** para obtener la tensión de polarización de base a partir de la tensión de polarización de colector, como se ilustra en la **figura 8.16a** para el caso de un transistor NPN. Este esquema se denomina también **polarización universal** y es el más utilizado en amplificadores de baja señal. Además, es térmicamente muy estable, lo cual significa que la ubicación del punto de trabajo no se afecta con los cambios de temperatura.



a. Circuito general



b. Circuito equivalente. V_{BB} y R_B reemplazan el divisor de tensión visto por la base, constituyendo lo que se denomina un **circuito equivalente de Thevenin**

Figura 8.16 Polarización por divisor de tensión (transistor NPN).

El proceso para determinar el punto de trabajo (Q) en un circuito como el de la **figura 8.16(a)** se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Calculamos las corrientes I_{R1} e I_{R2} a través de las resistencias del divisor de voltaje. En la práctica, $R1$ y $R2$ se escogen de modo que estas corrientes sean muy altas comparadas con la corriente de base (I_B), por lo menos 20 veces mayores. Bajo esta condición:

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{RB} = \frac{V_{CC}}{R1 + R2}$$

2. Calculamos la tensión de base (V_B), equivalente a la caída de voltaje sobre $R2$. Por tanto:

$$V_B = I_{RB} R2$$

3. Calculamos la tensión de emisor (V_E), equivalente al voltaje de base (V_B) menos la caída de tensión en la unión base-emisor (V_{BE}). Esto es:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

4. Calculamos la corriente de emisor (I_E), equivalente a la relación entre el voltaje de emisor (V_E) y la resistencia de emisor (R_E). Esta corriente es prácticamente igual a la corriente de colector (I_C). Por tanto:

$$I_E = I_C = \frac{V_E}{R_E}$$

5. Calculamos la tensión de colector (V_C), equivalente al voltaje de alimentación (V_{CC}) menos la caída de voltaje en la resistencia de colector ($V_{RC} = I_C R_C$). Esto es:

$$V_E = V_{CC} - V_{RC} = V_{CC} - I_C R_C$$

6. Calculamos la tensión entre colector y emisor (V_{CE}), equivalente a la diferencia entre la tensión de colector (V_C) y la tensión de emisor (V_E). Esto es:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

Resumiendo, nuestro punto de trabajo Q para el circuito de la **figura 8.16** está dado por las siguientes dos ecuaciones:

$$I_C = \frac{V_E}{R_E}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

Al mantener la corriente de base (I_B) muy pequeña, los valores de I_C y V_{CE} no dependen de la ganancia de corriente del transistor (β), sino de los valores de las resistencias externas. Esto se debe a que el divisor formado por $R1$ y $R2$ mantiene los voltajes V_B y V_E prácticamente constantes, lo mismo las corrientes I_E e I_C . Para efectos de análisis, el circuito de la **figura 8.16a** puede ser reducido a un circuito equivalente como el de la **figura 8.16b**, donde V_{BB} representa la tensión de polarización de base y R_B la resistencia de base. De este modo, el análisis se simplifica, permitiendo aplicar los mismos métodos de la polarización de emisor. El valor de V_{BB} es igual a la caída de voltaje sobre $R2$, mientras que el de R_B es equivalente a la asociación en paralelo de $R1$ y $R2$. Esto es:

$$V_{BB} = V_B = \frac{V_{CC} \times R2}{R1 + R2}$$

$$R_B = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

Los mismos conceptos y procedimientos anteriores son aplicables a un transistor PNP, excepto que debe utilizarse una fuente de alimentación (V_{CC}) negativa para polarizar adecuadamente las uniones base-emisor (BE) y base-colector (BC) del dispositivo, **figura 8.17**. Como resultado, la polaridad de todas las tensiones y la dirección de todas las corrientes son opuestas a la del circuito de polarización de un transistor NPN.

El cálculo del punto de trabajo se efectúa de la misma forma. Como ejercicio, demuestre que con los valores de los componentes indicados en el circuito, los valores de I_C y V_{CE} en condiciones de reposo (Q) son **1,68mA** y **3,96V**, respectivamente. El siguiente ejemplo aclarará estos conceptos.



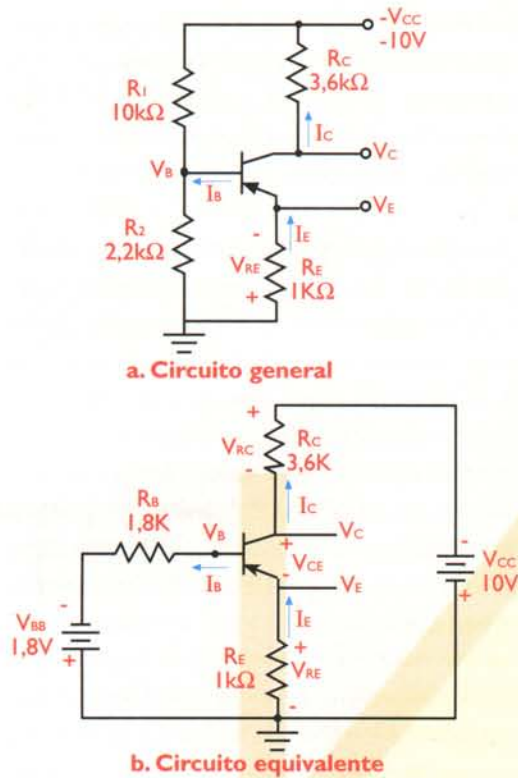


Figura 8.17. Polarización por divisor de tensión (transistor PNP)

Ejemplo 8.4(a). Determine los valores de I_C y V_{CE} en condiciones de reposo (Q) en un circuito como el de la figura 8.16a, donde $R_1=20K$, $R_2=5K$, $R_C=10K$, $R_E=2K$ y $V_{CC}=12V$. Asuma que la corriente de base (I_B) es muy pequeña comparada con la corriente a través de R_1 y R_2 . **(b)** Calcule los valores reales de I_C y V_{CE} utilizando el circuito equivalente de la figura 8.16b y asumiendo que la ganancia de corriente del transistor (β) puede fluctuar entre 20 y 60. ¿Se modifica sustancialmente la posición del punto de trabajo? ¿Por qué?

Solución. (a) Calculamos inicialmente la corriente del divisor de tensión (I_R), la tensión de base (V_B), la tensión de emisor (V_E), la corriente de emisor (I_E) y la corriente de colector (I_C)

$$I_R = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{12V}{20K + 5K} = 0,48mA$$

$$V_B = I_R R_2 = 0,48mA \times 5K = 2,4V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2,4V - 0,7V = 1,7V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1,7V}{2K} = 0,85mA$$

$$I_E = I_C = 0,85mA$$

A continuación calculamos el voltaje de colector (V_C) y el voltaje colector-emisor (V_{CE}):

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 12V - 0,85mA \times 10K \\ = 12V - 8,5V = 3,5V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 3,5V - 1,7V = 1,8V$$

Por tanto, el punto de trabajo (Q) del circuito corresponde a $I_C = 0,85mA$ y $V_{CE} = 1,8V$

(b) Calculamos inicialmente el voltaje de polarización de base (V_{BB}) y la resistencia de base (R_B) de circuito equivalente:

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} \times R_1}{R_1 + R_2} = V_B = 2,4V$$

$$R_B = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20K \times 5K}{20K + 5K} = 4K$$

A continuación, planteamos las ecuaciones del voltaje de emisor (V_E), la corriente de emisor (I_E), la corriente de colector (I_C) y la corriente de base (I_B). Consideremos primero el caso de β mínimo (20). Esto es:

$$V_E = I_E R_E = 2K \times I_E$$

$$I_E = I_C = \beta I_B = 20I_B$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE} - V_E}{R_B} = \frac{2,4V - 0,7V - V_E}{4K} = \frac{1,7V - V_E}{4K}$$

Reemplazando las ecuaciones de V_E e I_E en las ecuaciones de I_B , obtenemos:

$$I_B = \frac{1,7V - V_E}{4K} = \frac{1,7V - (2K \times I_E)}{4K} = \frac{1,7V - (2K \times 20I_B)}{4K}$$

$$4K \times I_B = 1,7V - 40K \times I_B$$

$$44K \times I_B = 1,7V$$

Por tanto:

$$I_B = \frac{1,7V}{44K} = 0,0386mA$$

$$I_E = I_C = 20 \times I_B = 0,773 mA$$

$$V_E = 2K \times I_E = 1,545 V$$

Finalmente, calculamos el voltaje de colector (V_C) y el voltaje colector-emisor (V_{CE}):

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 12V - 0,773mA \times 10K = 4,27V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 4,27V - 1,545V = 2,73V$$

Por tanto, con $\beta=30$, el punto de trabajo quedará localizado en $I_C=0,77mA$ y $V_{CE}=2,73V$. Estos valores son muy parecidos a los obtenidos en el primer análisis ($I_C=0,85 mA$ y $V_{CE}=1,8V$). Por un procedimiento similar, usted puede demostrar que los valores reales de I_C y V_{CE} con el β máximo (60) son $0,823mA$ y $2,13V$, los cuales son también muy parecidos a los originales. Por tanto, podemos afirmar que el punto de trabajo Q se mantiene relativamente estable y no se afecta sensiblemente con los cambios en la ganancia de corriente. Esto se debe a que, por la presencia de R_E , el voltaje de emisor (V_E) no cambia significativamente, fluctuando entre $1,55V$ para $\beta=20$ y $1,65V$ para $\beta=60$

Otros tipos de polarización

Los circuitos de polarización de transistores se dividen en dos grupos, dependiendo de si el punto de trabajo (Q) depende o no de la ganancia de corriente (β). Los esquemas de polarización de emisor y por divisor de tensión de las figuras 8.15 hasta 8.17, son ejemplos de **circuitos independientes del beta**. En ellos, la ubicación del punto Q depende casi exclusivamente de los valores de componentes externos. Seleccionando adecuadamente estos valores, el

transistor puede ser fácilmente polarizado en cualquier punto de la recta de carga, independientemente de sus características. También proporcionan una excelente estabilidad ante los cambios de temperatura.

La otra categoría son los **circuitos dependientes del beta**. En ellos, la ubicación del punto Q depende no solamente de los valores de los componentes externos, sino de la ganancia de corriente (β), la cual varía mucho de un transistor a otro. Por tanto, dos transistores similares colocados en el mismo circuito pueden, como ocurre en la mayoría de los casos, operar en puntos completamente diferentes, llegando inclusive a la saturación o el corte, lo cual es inaceptable en circuitos amplificadores de baja señal.

En las figuras 8.18a hasta 8.18d, se muestran algunos ejemplos de circuitos de polarización dependientes del beta. Debido a que su uso es poco frecuente en circuitos de amplificación bien diseñados (aunque sí en sistemas digitales), no vamos a profundizar en su análisis. Sin embargo, consideramos que es importante que usted los conozca, por si llega a encontrarse con ellos en algún circuito. Los valores de los componentes indicados son sólo ilustrativos y no implica que sean los más recomendables o los que deban siempre utilizarse.

El circuito de la figura 8.18(a) corresponde a un esquema de **polarización de base**. Es la forma más simple de polarizar un transistor, pero también la menos adecuada cuando se pretende mantener estable el punto de trabajo. En este caso, la corriente de base (I_B), la tensión colector-emisor

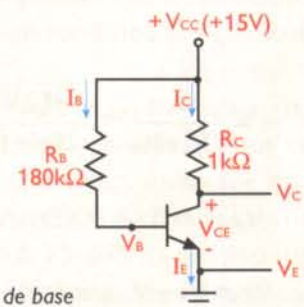


Figura 8.18a. Polarización de base

por (V_{CE}) y la corriente de colector (I_C) en condiciones de reposo, están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$I_C = \beta I_B$$

siendo β la ganancia de corriente. Por ejemplo, si $V_{CC}=10V$, $\beta=100$, $R_C=1K$ y $R_B=180K$, entonces $I_B=62,78\mu A$, $I_C=6,28$ mA y $V_{CE}=5,72V$, lo cual implica que el punto de trabajo estaría casi en el centro de la recta de carga. Sin embargo, si el β se duplica (200), el punto de trabajo se desplazaría ahora a $I_C=12$ mA y $V_{CE}=0V$, lo cual corresponde a una condición de saturación. Por tanto, para este circuito, el punto Q no es estable y cambia de posición proporcionalmente con los cambios en la ganancia de corriente. Además, es muy sensible ante los cambios de temperatura.

Un intento por estabilizar el punto de trabajo en el circuito anterior es utilizando un esquema como el de la **figura 8.18b**, llamado **polarización con realimentación de emisor**. En este caso, la introducción de la resistencia de emisor (R_E) produce una tensión (V_E) que se opone a los cambios en la ganancia de corriente: si β aumenta, aumentan I_C e I_E . Esto último provoca un aumento de V_E , lo cual, a su vez, hace que aumente V_B y disminuya I_B . Por tanto, disminuyen I_C e I_E , contrarrestando su tendencia inicial a aumentar y estabilizando, aparentemente, el punto de trabajo. Este fenómeno, donde el aumento o la disminución de

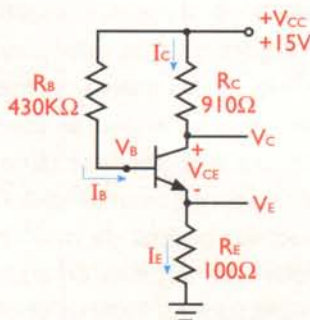


Figura 8.18b. Polarización con realimentación de emisor

una variable de salida (I_C) causa la disminución o el aumento de un variable de entrada (I_B), se denomina una **realimentación negativa**.

En nuestro caso, la realimentación negativa sí reduce efectivamente los desplazamientos del punto Q con respecto a los cambios del β , pero los mismos siguen muy grandes como para asegurar que se mantiene estable. Por esta razón, este tipo de polarización no es tan popular como la polarización por divisor de tensión. Las fórmulas para calcular el punto de trabajo (Q) son las siguientes:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$I_C = I_E = \beta I_B$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_B}$$

$$V_E = I_E R_E$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

Por ejemplo, si $V_{CC}=15V$, $R_C=910\Omega$, $R_E=100\Omega$, $R_B=200k\Omega$ y $\beta=100$, entonces $I_C=7,22$ mA y $V_{CE}=7,71V$. Si se duplica el β (200), entonces $I_C=13,06$ mA y $V_{CE}=1,81V$, que es un punto muy cerca al de saturación. Asimismo, si el β se reduce a la mitad (50), entonces $I_C=3,56$ mA y $V_{CE}=11,40V$, que es un punto muy cerca al de corte. Por tanto, el punto Q sigue siendo bastante inestable y muy dependiente de la ganancia de corriente, aunque no tanto como bajo un esquema de polarización de base.

Otro intento por estabilizar el punto de trabajo es el esquema de la **figura 8.18c**, llamado **polarización con realimentación de colector**. En este caso, la resistencia de base (R_B) introduce una realimentación negativa que disminuye o aumenta la corriente de base (I_B) cuando aumenta o disminuye la corriente de colector (I_C) cuando cambia la ganancia de corriente (β). Por ejemplo, si β

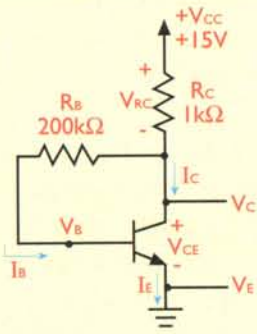


Figura 8.18c. Polarización con realimentación de colector

aumenta, aumenta I_C y disminuye V_C . Esto causa que disminuya I_B y, por tanto, I_C . De este modo se compensa la tendencia inicial de I_C a aumentar, estabilizándose, aparentemente, el punto de trabajo (Q). Sin embargo, esta estabilidad es relativa. Las fórmulas para calcular el punto de trabajo de este circuito son las siguientes:

$$V_C = V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_B = \frac{V_C - V_{BE}}{R_B}$$

Por ejemplo, si $V_{CC}=15V$, $R_C=1K$, $R_B=200K$ y $\beta=100$, entonces $I_C=4,79mA$ y $V_{CE}=10,2V$. Si la ganancia de corriente se duplica ($\beta=200$), el punto de trabajo se desplaza hasta $I_C=7,17mA$ y $V_{CE}=7,83V$. Asimismo, si la ganancia de corriente se reduce a la mitad ($\beta=50$), la nueva posición del punto de trabajo es $I_C=2,9 mA$ y $V_{CE}=12,1V$. Por tanto, el punto Q sigue siendo inestable y dependiente de la ganancia de corriente. Además, este circuito es más sensible a los cambios de temperatura que el anterior, lo cual limita aún más su uso.

Finalmente, en la figura 8.18d, se muestra un circuito de polarización con realimentación de colector y emisor, el cual combina las características de los dos anteriores. Sin embargo, aunque la realimentación proporcionada por las resistencias de base (R_B) y de emisor (R_E) reduce el efecto de las variaciones de la ganancia de corriente (β) en la posición del punto de trabajo (Q), la estabilidad de este último no es tan confiable como en un

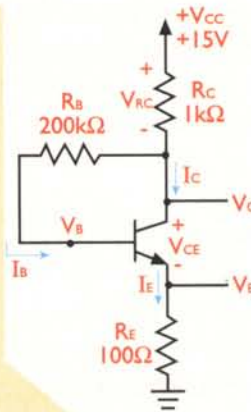


Figura 8.18d. Polarización con realimentación mixta

circuito de polarización con divisor de tensión. No obstante, este circuito exhibe buenas características de estabilidad térmica. Las fórmulas para calcular el punto de trabajo son las siguientes:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$I_C = I_E = \beta I_B$$

$$V_E = I_E R_E$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

$$I_B = \frac{V_C - V_B}{R_B}$$

Amplificadores de señales

Los transistores, tanto a nivel de componentes sueltos o *discretos* como incorporados en circuitos integrados o *chips*, se utilizan principalmente como amplificadores. Un **amplificador**, como su nombre lo indica, es un circuito que aumenta o *amplifica* la magnitud de una señal eléctrica. Esta señal puede ser obtenida, por ejemplo, de una antena, un micrófono o un sensor electrónico. La acción de convertir una señal pequeña en una más grande se denomina, por lo mismo, **amplificación**. Los amplificadores son los bloques constructivos básicos de muchos equipos electrónicos, incluyendo sistemas de audio y vídeo, sistemas de comunicaciones, sistemas de control, sistemas de seguridad, sistemas de potencia, etc.

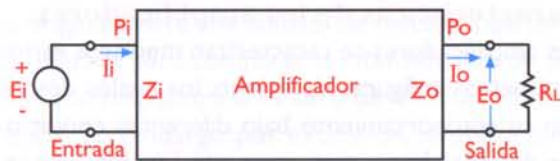


Figura 8.19. Diagrama de bloques de un amplificador genérico. El subíndice «i» (input) denota condiciones de entrada, y el subíndice «o» (output) condiciones de salida. Por ejemplo, I_i es la corriente de entrada y P_o es la potencia de salida

Para efectos de análisis, un amplificador puede ser representado mediante un diagrama de bloques como el de la **figura 8.19**. En este caso, E_i e I_i son las señales de voltaje y corriente de entrada, y E_o e I_o las señales de voltaje y corriente de salida. La resistencia R_L representa la **carga**, es decir el dispositivo o circuito que aprovecha la señal de salida, por ejemplo, un parlante, un motor, otro amplificador, etc. La potencia asociada con la señal de entrada es P_i y la asociada con la señal de salida es P_o .

Tipos de amplificadores

Los amplificadores se clasifican de acuerdo a diversos criterios. Un primer criterio es el tipo de señales que amplifican. Desde este punto de vista, se habla de **amplificadores de voltaje, de corriente o de potencia**. Un amplificador de voltaje, por ejemplo, como el requerido para amplificar la señal de un micrófono, está optimizado para amplificar solamente señales de voltaje, y, por tanto, no necesariamente es capaz de excitar un parlante. Para esto último se requiere de un amplificador de potencia.

Otro criterio de clasificación es la magnitud de las señales que amplifican. Desde este punto de vista se habla de **amplificadores de señal pequeña o grande**. Los primeros, también llamados **amplificadores de baja señal**, amplifican señales del orden de los microvoltios o milivoltios, mientras que los segundos amplifican señales más grandes. Estos últimos se analizan generalmente mediante métodos gráficos, mientras que para los de baja señal se utilizan métodos algebraicos, como los que hemos trabajado hasta el momento. Los

amplificadores de baja señal se utilizan principalmente como amplificadores de voltaje y los de señal grande como amplificadores de potencia.

Los amplificadores pueden ser también clasificados en términos de la cantidad de señal de entrada que recibe amplificación a la salida, **figura 8.20**. Desde este punto de vista, se habla de **amplificadores clase A, AB, B o C**. En un **amplificador clase A**, **figura 8.20(b)**, recibe amplificación la totalidad (el 100%) de la señal de entrada. Por tanto, a través de la carga, circula corriente durante los 360° de cada ciclo. Además, la forma de onda de la señal de salida es una réplica ampliada, pero fiel, de la señal de entrada.

En un **amplificador clase B**, **figura 8.20(c)**, recibe amplificación solo la mitad (el 50%) de la señal de entrada. Por tanto, a través de la carga circula corriente únicamente durante 180° en cada ciclo. En un **amplificador clase**

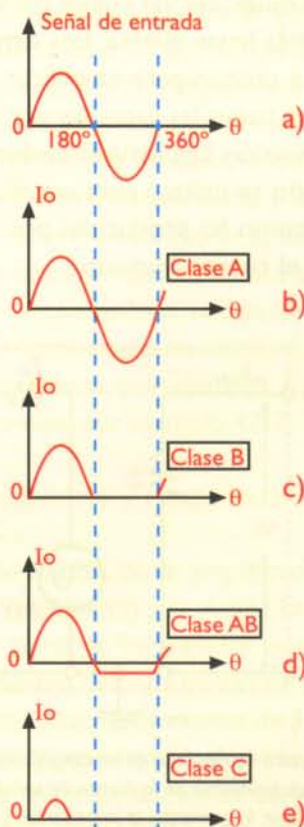


Figura 8.20. Clases de funcionamiento básicas de los amplificadores. Existen también otras clases, llamadas D, G, H, etc., basadas en distintos criterios

AB, figura 8.20(d), recibe amplificación más del 50% y menos del 100% de la señal de entrada. Así, a través de la carga circula corriente durante más de 180° y menos de 360° en cada ciclo. Finalmente, en un amplificador clase C, **figura 8.20(e)**, recibe amplificación menos de la mitad de la señal de entrada. En esta forma, a través de la carga circula corriente durante menos de 180° en cada ciclo. Los amplificadores de clase A se utilizan para amplificar señales pequeñas, los de clases B y AB para amplificar señales grandes y los de clase C para amplificar señales de alta frecuencia.

Los amplificadores pueden ser también clasificados de acuerdo con su uso. Desde este punto de vista se habla de amplificadores de audio, radiofrecuencia (RF), vídeo, microondas, pulsos, instrumentación, etc. Los **amplificadores de audio**, por ejemplo, se utilizan para amplificar señales audibles, como las producidas por la voz humana y los instrumentos musicales, las cuales tienen frecuencias desde 20Hz hasta 20kHz. Los **amplificadores de RF** se utilizan para amplificar señales de alta frecuencia, como las captadas por las antenas de radio y televisión. Los **amplificadores de instrumentación** se utilizan para amplificar señales muy débiles, como las producidas por sensores o presentes en el cuerpo humano.

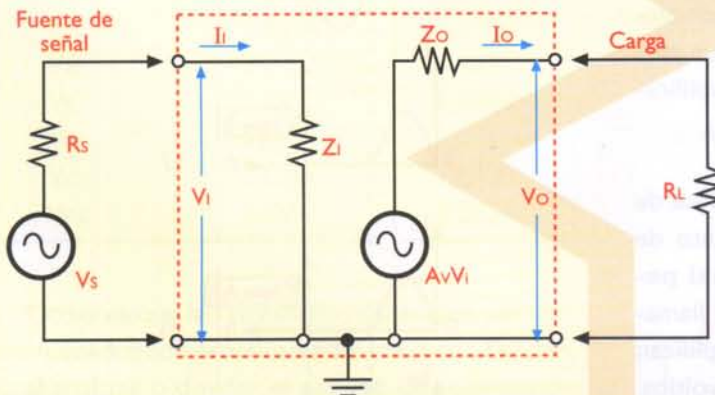


Figura 8.21. Circuito equivalente de un amplificador. V_s y R_s representan el voltaje y la resistencia interna de la fuente de señal. V_i , I_i , Z_i y P_i representan el voltaje, la corriente, la impedancia y la potencia asociadas con el circuito de entrada. V_o , I_o , Z_o y P_o representan los mismos parámetros, pero asociados al circuito de salida. A_v es la ganancia de voltaje. R_L es la resistencia o impedancia de la carga

Características de los amplificadores

Los amplificadores se caracterizan mediante varios parámetros o figuras de mérito, los cuales describen su comportamiento bajo diferentes condiciones de señal, frecuencia, carga, etc. Los más importantes son: la ganancia de voltaje, la ganancia de corriente, la ganancia de potencia, la resistencia de entrada, la resistencia de salida, el ancho de banda, la distorsión y la polarización. A continuación definiremos estos conceptos. Para comprender su significado, consideremos el diagrama de la **figura 8.21**, similar al de la **figura 8.19**, que representa el circuito equivalente de un amplificador genérico.

Ganancias de voltaje, corriente y potencia

La **ganancia**, en general, es una medida de la cantidad de amplificación que proporciona un amplificador. Dependiendo de su diseño, este último puede proporcionar ganancia de voltaje, de corriente o de potencia. La **ganancia de voltaje** se denota como A_v y se define como la relación entre la señal de voltaje de salida (E_o) y la señal de voltaje de entrada (E_i). Esto es:

$$A_v = \frac{E_o}{E_i}$$

La **ganancia de corriente** se denota como A_i y se define como la relación entre la señal de corriente de salida (I_o) y la señal de corriente de entrada (I_i). Esto es:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i}$$

La **ganancia de potencia** se denota como A_p y se define como la relación entre la potencia de la señal de salida (P_o) y la potencia de la señal de entrada (P_i). También es igual al producto de las ganancias de voltaje (A_v) y de corriente (A_i). Esto es:

$$A_p = \frac{P_o}{P_i} = A_v A_i$$

Usualmente, la ganancia se expresa en **decibelios (dB)**. El decibelio o decibel,

es originalmente una unidad de medida logarítmica utilizada para comparar la intensidad de un sonido con respecto a la de otro tomado como referencia. Sin embargo, por extensión, se utiliza también para comparar la magnitud relativa de una señal eléctrica con respecto a otra. Para expresar las ganancias de un amplificador en decibelios se utilizan las siguientes fórmulas de conversión:

$$A_v(\text{dB}) = 20\log A_v$$

$$A_i(\text{dB}) = 20\log A_i$$

$$A_p(\text{dB}) = 10\log A_p$$

donde $\log A_v$, $\log A_i$ y $\log A_p$ corresponden al logaritmo decimal, o en base 10, de los valores numéricos de la ganancia de voltaje, corriente y potencia, respectivamente. El logaritmo de un número, que es proporcionado por cualquier calculadora científica, corresponde al exponente al cual hay que elevar la base (10, en este caso) para obtener ese número. Por ejemplo, el logaritmo decimal de 100 es 2, porque $10^2=100$. Así, un amplificador de voltaje donde $E_o=2V$ y $E_i=10mV$ tiene una ganancia de $2V/10mV=200$, equivalente a $20\log 200 = 46\text{dB}$. Por tanto, podemos decir que E_o está 46dB por encima de E_i , o, lo que es lo mismo, es 200 veces más grande.

Resistencias o impedancias de entrada y de salida

La **resistencia de entrada** se denota como **Ri** y se define como la relación entre el voltaje (V_i) y la corriente (I_i) de la señal de entrada. Esto es:

$$R_i = \frac{V_i}{I_i}$$

La **resistencia de salida** se denota como **Ro** y se define como la relación entre el voltaje (V_o) y la corriente (I_o) de la señal de salida. Esto es:

$$R_o = \frac{V_o}{I_o}$$

Las resistencias de entrada y de salida de un amplificador se definen en condiciones **dinámicas**, es decir en presencia de una señal. Las mismas son en realidad el efecto combinado de las características de entrada y de salida de los transistores utilizados por el mismo, así como de las resistencias, condensadores y bobinas presentes en el circuito. Por esta razón, en lugar de **resistencia** es más exacto hablar de **impedancia**, definida como la oposición que ofrecen, de manera combinada, estos elementos a la circulación de la corriente de señal (CA) a través del amplificador. La impedancia de entrada se denota como **Zi** y la de salida como **Zo**. Por tanto:

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o}$$

Desde un punto de vista práctico, la impedancia de entrada (Z_i) es la resistencia o impedancia vista por la fuente que genera la señal que se va a amplificar. Del mismo modo, la impedancia de salida (Z_o) es la resistencia o impedancia que observa la carga que recibe la señal. En el caso de un amplificador de voltaje, por ejemplo, es deseable que Z_i sea muy alta, idealmente infinita, y Z_o muy baja, idealmente cero. De este modo, la fuente de señal no necesita entregar casi corriente a la entrada y la carga aprovecha todo el voltaje de salida disponible. En la práctica, esto no siempre sucede: Z_i es alta pero no infinita, por ejemplo $1\text{ M}\Omega$; y Z_o es baja pero no nula, por ejemplo 47Ω .

Ancho de banda y respuesta de frecuencia

El **ancho de banda** de un amplificador se denota como **BW** (*bandwidth*) y se define como la banda, intervalo, o gama de frecuencias, que reciben amplificación dentro de unos límites de ganancia preestablecidos, usualmente menos de 3dB por debajo de la ganancia nominal. Idealmente, un amplificador debería tener un ancho de banda infinito, es decir amplificar todas las frecuencias de señal posibles con la misma ganancia. En la práctica esto no siempre sucede y algunas frecuencias reciben más

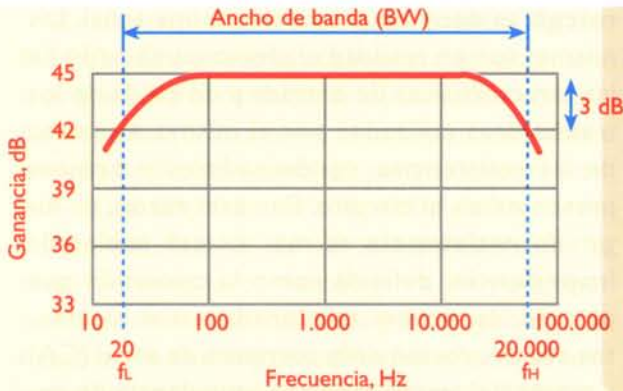


Figura 8.22. Ejemplo de una curva de respuesta de frecuencia de un amplificador. Observe que la frecuencia (f , expresada en Hz) se gráfica sobre el eje x y la ganancia (A_v , expresada en dB) sobre el eje y.

amplificación que otras, La forma como varía la ganancia con la frecuencia se representa usualmente en una gráfica llamada **curva de respuesta de frecuencia**, como la mostrada en la **figura 8.22**.

En este caso, el ancho de banda (**BW**) corresponde al intervalo de frecuencias entre f_L (20Hz), llamada **frecuencia de corte inferior**, y f_H (20kHz), llamada **frecuencia de corte superior**. En este intervalo la ganancia disminuye, como máximo, 3 dB (aproximadamente un 30%) con respecto a su valor nominal (45dB), que es el valor promedio o predominante en el resto de la escala. Por esta razón, f_L y f_H se conocen también como **frecuencias superior e inferior de -3dB**. Estas frecuencias son las que determinan los límites del ancho de banda del amplificador. Por tanto:

$$BW = f_H - f_L$$

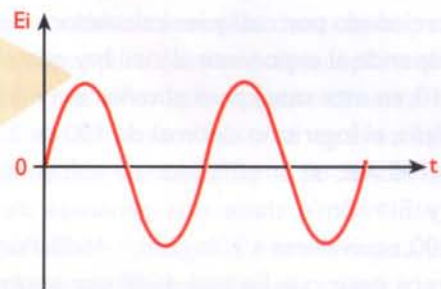
En nuestro caso, $BW = f_H - f_L = 20.000\text{Hz} - 20\text{Hz} = 19.980 \text{ Hz}$. Este es el tipo de respuesta de frecuencia requerido, por ejemplo, para un amplificador de audio.

Distorsión

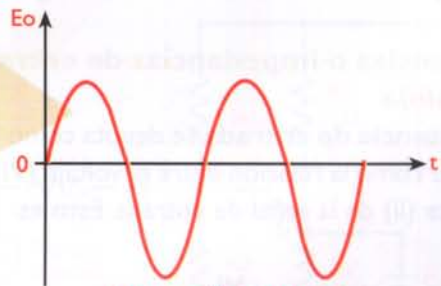
Idealmente, la señal de salida de un amplificador debería ser una réplica ampliada pero exacta de la señal de entrada. En la práctica esto no siempre sucede y la señal de salida presenta ciertas irregularidades que no están presentes en la señal de entrada. A este fenómeno se le denomina **distorsión** y

se debe principalmente a que los transistores no son dispositivos estrictamente lineales. Como resultado, ellos introducen efectos y frecuencias adicionales que distorsionan la forma de onda original. Existen muchos tipos de distorsiones (armónica, por intermodulación, de cruce, etc.), las cuales no vamos a discutir por tratarse de fenómenos muy complejos. Sin embargo, veamos un ejemplo.

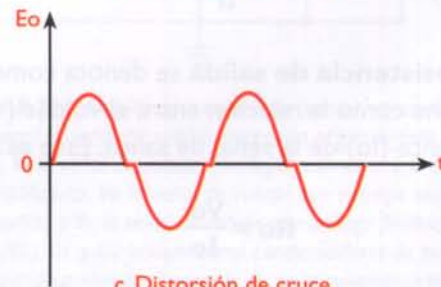
Suponga que aplicamos una onda seno perfecta de 1kHz y 10mV de amplitud, a la entrada de un amplificador de voltaje con una ganancia de 100 (40dB). Por tanto, a la salida del mismo esperaríamos encontrar una onda seno pura de 1kHz, pero con una amplitud de 1V. Sin embargo, es muy probable que, aunque esta última tenga la amplitud y la frecuencia esperada, la misma no sea una onda pura. Esto debe a que el amplificador, además de la



a. Señal original



b. Distorsión armónica



c. Distorsión de cruce

Figura 8.23. Ejemplos de distorsión en amplificadores

frecuencia de 1 kHz, llamada **fundamental**, ha introducido también **armónicas**, es decir frecuencias múltiplos enteros de la fundamental (2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, etc.) no contenidas en la señal original. Éste es un caso típico de una **distorsión armónica**, que es muy común.

Polarización

Las condiciones de polarización son un requisito clave para que un transistor pueda operar correctamente como amplificador en condiciones de señal. No se puede pretender, por ejemplo, que un transistor amplifique una señal sin distorsión cuando su punto de trabajo está muy alejado del centro de la recta de carga, en los límites de la saturación o el corte. Por tanto, el primer punto que se debe tener en cuenta cuando se analiza o diseña un amplificador es investigar como está polarizado, o polarizarlo correctamente. La polarización también determina la clase de operación (A, B, AB o C) de un amplificador, así como su capacidad para manejar señales pequeñas o grandes.

Una vez examinadas las características generales de los amplificadores, es el momento de aplicar estos conceptos al estudio de los amplificadores con transistores. Inicialmente examinaremos las configuraciones básicas de los amplificadores de baja señal, comprobaremos experimentalmente el funcionamiento de un amplificador en emisor común y extenderemos estos conceptos a los amplificadores basados en transistores de efecto de campo (FET). Posteriormente aprenderemos cómo acoplar etapas amplificadoras en cascada para obtener altas ganancias. Por último, estudiaremos algunas configuraciones básicas de amplificadores de potencia.

Amplificadores de baja señal con transistores

Hasta el momento hemos aprendido a analizar amplificadores en condiciones **estáticas** o de **reposo** (sin señal de entrada aplicada) y a polarizarlos, es decir, a establecer el punto de trabajo (Q) de los mismos. Una vez que un transistor ha sido polarizado adecuadamente, con el punto Q prefe-

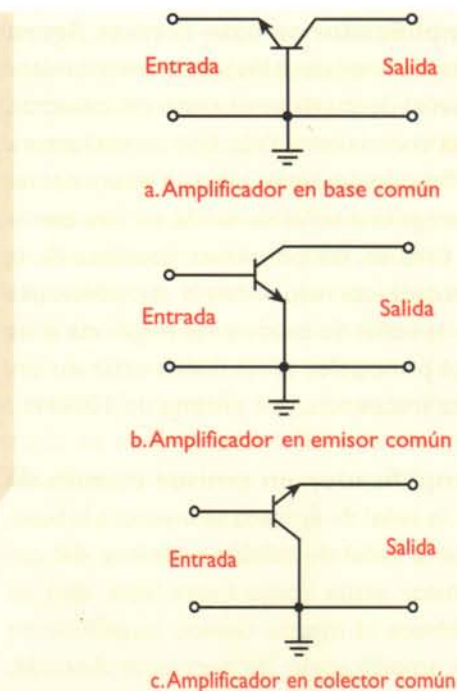


Figura 8.24. Configuraciones básicas simplificadas de amplificadores con transistores. Para simplificar, no se muestran las fuentes de alimentación, ni las resistencias, condensadores y demás componentes necesarios para polarizar el transistor, acoplar las señales de entrada y de salida, mejorar el desempeño, etc. Por tanto, éstos son únicamente circuitos equivalentes de señal.

riblemente cerca del centro de la recta de carga, podemos entonces aplicar una pequeña señal en la entrada para amplificarla y obtener una señal más grande en la salida. La presencia de la señal de entrada hace que las corrientes y voltajes del circuito varíen por encima y por debajo de sus valores nominales o de reposo. A estas nuevas condiciones se les denomina **dinámicas** o de **señal**.

Dependiendo de la forma como se conecte un transistor para llevar a cabo la función de amplificación, son posibles tres configuraciones importantes, llamadas **emisor común** (EC), **base común** (BC) y **colector común** (CC). En la **figura 8.24** se ilustra la idea básica de cada una. Individualmente, estas configuraciones reaccionan de manera diferente a la señal de entrada y tienen características específicas que las hacen aplicables a un uso especial. Su nombre se deriva del terminal del transistor (base, colector o emisor) que actúa como tierra o referencia común para las señales de entrada y de salida.

En un **amplificador en base común**, figura 8.24a, la señal de entrada se inyecta al emisor, mientras que la señal de salida se obtiene del colector. La base actúa como tierra. Este tipo de estructura ofrece amplificación de voltaje pero no de corriente. Además, entrega una señal de salida en fase con la de entrada. Esto es, las porciones positivas de la señal de entrada corresponden a las porciones positivas de la señal de salida y las negativas a las negativas. Sus principales aplicaciones están en circuitos de alta frecuencia, por encima de 100kHz.

En un **amplificador en emisor común**, figura 8.24b, la señal de entrada se inyecta a la base, mientras que la señal de salida se obtiene del colector. El emisor actúa como tierra. Este tipo de estructura ofrece al mismo tiempo amplificación de voltaje y amplificación de corriente. Además, entrega una señal de salida invertida u opuesta en fase con respecto a la de entrada. Esto es, las porciones positivas de la señal de entrada corresponden a las porciones negativas de la señal de salida y las negativas a las positivas. Sus principales aplicaciones están en circuitos de baja y mediana frecuencia (por debajo de 100kHz).

En un **amplificador en colector común**, figura 8.24c, la señal de entrada se inyecta a la base, mientras que la señal de salida se obtiene del emisor. El colector actúa como tierra. Este tipo de estructura ofrece amplificación de corriente pero no de voltaje. Además, entrega una señal de salida en fase con la de entrada. Esto es, las porciones positivas de la señal de entrada corresponden a las porciones positivas de la señal de salida y las negativas a las negativas. Se utiliza tanto en circuitos de baja como de alta frecuencia. También se le conoce como **seguidor emisor** (*follower emitter*).

Amplificador de baja señal en emisor común

En la figura 8.25a se muestra el circuito práctico de un amplificador de baja señal en emisor común. Observe el uso de un esquema de polarización con divisor de tensión, estructurado alrededor de R_1 , R_2 , R_C y R_E . Estas resistencias establecen la posi-

ción del punto de trabajo (Q) del amplificador y determinan su ganancia, su impedancia de entrada y su impedancia de salida.

Note también la adición de un condensador (C_1) para transferir la señal desde la fuente (V_s) hasta la entrada del amplificador (V_i), y otro, (C_2), para transferirla desde la salida de este último (V_o) hasta la carga (V_L). También se incluye un tercer condensador (C_E) en paralelo con la resistencia del emisor (R_E).

Los condensadores C_1 y C_2 actúan como **condensadores de acople** o de **paso**, y C_E como **condensador de desacople**. Los **condensadores de acople** se utilizan en los amplificadores para transferir o acoplar señales de un punto a otro. Por esta razón, se conectan siempre en serie.

Los **condensadores de desacople**, por su parte, se utilizan para desviar o desacoplar señales entre dos puntos. Por esta razón, se conectan siempre en paralelo. En ambos casos se aprovecha la característica de los condensadores de ofrecer una resistencia u oposición al paso de la corriente alterna, inversamente proporcional a la frecuencia. Esta oposición se denomina **reactancia capacitiva**.

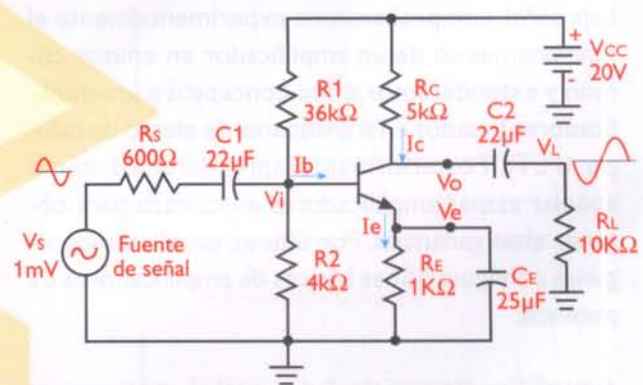


Figura 8.25a. Amplificador en emisor común representativo. V_s representa la señal de voltaje entregada originalmente por la fuente, V_i la señal de voltaje que llega realmente a la entrada del amplificador, V_o la señal de voltaje que entrega este último en su salida y V_L la señal de voltaje que le llega finalmente a la carga (R_L). C_1 y C_2 actúan como condensadores de paso y C_E como condensador de desacople. R_s es la resistencia interna de la fuente de señal. Las demás resistencias forman el circuito de polarización

Acción de los condensadores de acople y desacople

La **reactancia capacitiva** de un condensador se denota como X_C , se expresa en ohmios (Ω) y se evalúa mediante la siguiente fórmula:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

siendo π una constante (3,1416), f la frecuencia (Hz) de la señal y C la capacidad del condensador (F). Observe que, si la señal no cambia o lo hace muy lentamente, como es el caso de un nivel de CC, la frecuencia es cero (0), o muy baja, y, por tanto, la reactancia X_C es muy alta, prácticamente infinita. Esta condición corresponde a un **circuito abierto**.

Del mismo modo, si la señal cambia muy rápidamente, la frecuencia es muy alta, y, por tanto, X_C es muy baja, prácticamente cero. Esta condición corresponde a un **cortocircuito**. En general, X_C es alta para frecuencias bajas y baja para frecuencias altas. Por tanto, estas últimas pasan con mayor facilidad que las primeras.

Para que un condensador de acople o de desacople funcione correctamente, es necesario que X_C sea muy baja, idealmente cero, para la frecuencia más baja contenida en la señal de entrada. Como regla práctica, el valor de X_C para esta frecuencia deber ser, como máximo, la décima parte (1/10) del valor de la resistencia total en serie con el condensador.

En el caso de C_1 en la **figura 8.25**, por ejemplo, esta resistencia es la suma de la resistencia de la fuente de señal (R_s) y la resistencia de entrada del amplificador (R_i). Así, con $f=20\text{Hz}$, $R_s=600\Omega$ y $R_i=1,2\text{K}$ (calculada más adelante), el valor máximo de X_C debe ser de 1.800Ω , lo cual implica que C_1 debe ser, por lo menos, de $4,4\mu\text{F}$. Por tanto, el valor de $22\mu\text{F}$ utilizado para C_1 es más que adecuado.

Una vez comprendidas las funciones de los condensadores de acople y de desacople, es el momento en que comencemos a analizar cómo funciona nuestro amplificador.

Análisis sistemático

Intuitivamente es fácil comprender como amplifica el circuito de la **figura 6.25a**. La existencia de una pequeña señal de CA acoplada a la base (V_i) provoca que la corriente de base (I_b) varíe ligeramente por encima y por debajo de su valor en reposo. Estas pequeñas variaciones, multiplicadas por la ganancia de corriente (β), producen grandes variaciones en la corriente de colector (I_c), y, por tanto, en el voltaje de colector (V_c) que es el mismo voltaje de salida (V_o).

Una forma más sistemática de analizar un amplificador como el de la **figura 8.25a**, es efectuando dos análisis por separado, uno en condiciones **estáticas** o de reposo, con la fuente de alimentación (V_{CC}) activa y la fuente de señal (V_s) anulada, y otro, en condiciones **dinámicas** o de señal, con la fuente de señal (V_s) activa y la fuente de alimentación (V_{CC}) anulada.

En el primer caso, llamado también **análisis para continua** (CC), la fuente de señal (V_s) se sustituye por un cortocircuito y los condensadores (C_1 , C_2 , C_3) por circuitos abiertos, mientras que en el segundo, llamado también **análisis para señal o alterna** (CA), la fuente de alimentación (V_{CC}) se sustituye por un cortocircuito, lo mismo que los condensadores.

Note que **anular** una fuente (de señal o de alimentación) es simplemente sustituirla por un cortocircuito. Asimismo, abrir un condensador es lo mismo que retirarlo o desconectarlo, y ponerlo en cortocircuito, es lo mismo que reemplazarlo por un puente. Estos criterios son aplicables al análisis de cualquier amplificador.

Una vez hechas estas sustituciones se obtienen dos circuitos equivalentes, como los mostrados en las **figuras 8.25b y 8.25c**. El paso final es superponer o sumar los resultados de cada análisis para así visualizar cómo se comportan realmente las corrientes en cualquier rama y los voltajes entre cualquier par de puntos o nodos del circuito. A continuación profundizaremos en estos aspectos.

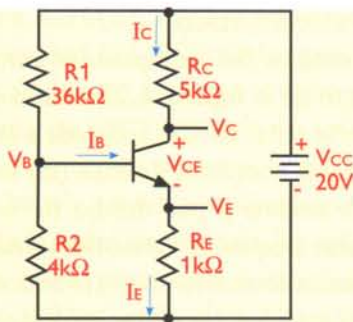


Figura 8.25b. Circuito equivalente para CC del amplificador de la figura 8.25a

Análisis para corriente continua

En la figura 8.25b se muestra el circuito equivalente para CC de nuestro amplificador, obtenido después de aplicar los criterios anteriores. El circuito resultante muestra las condiciones de polarización, correspondientes al punto de trabajo (Q) del amplificador. Asumiendo un valor de β de 100 (mínimo) y siguiendo los métodos simplificado ($I_B = 0$) y exacto ($I_B \neq 0$) explicados en el ejemplo 8.4, llegamos a los siguientes resultados:

Parámetro	Método simplificado	Método exacto
I_{R1}	500 μ A	501,25 μ A
I_{R2}	500 μ A	488,75 μ A
I_B	0	12,55 μ A
I_E	1,3mA	1,255 mA
I_C	1,3mA	1,255 mA
V_B	2V	1,955V
V_E	1,3V	1,255V
V_C	13,5V	13,725V
V_{CE}	12,2V	12,47V
V_{RC}	6,5V	6,275V

Observe que los resultados obtenidos por ambos métodos son prácticamente idénticos. Por tanto, al analizar o diseñar el circuito de polarización de un amplificador de baja señal, podemos utilizar siempre el método simplificado, que es más rápido y menos engorroso, siempre y cuando el β real, o el β mínimo especificado por el fabricante, sea relativamente grande (mayor de 50).

Por ejemplo, para el transistor 2N3904 los valores mínimo y máximo de β son 60 y 300, respectivamente. Por tanto, haríamos nuestros cálculos con $\beta=60$, que es el peor caso. En la práctica, lo más probable es que el valor real de β del transistor que estamos utilizando sea mayor que este valor, digamos 200, con lo cual nuestras predicciones serán aún más exactas.

Análisis para señal

En la figura 8.25c se muestra el circuito equivalente para señal del amplificador de la figura 8.25a, obtenido después de aplicar los criterios antes esbozados. Este circuito es clave, puesto que, a partir del mismo, podemos evaluar cuantitativamente las características más importantes del amplificador, incluyendo las impedancias de entrada y de salida, y las ganancias de voltaje, corriente y potencia. También nos permite predecir la distorsión y otros datos de interés cuando se analiza o diseña un amplificador en forma sistemática.

Observe que la anulación de la fuente de alimentación (V_{CC}) provoca que la parte superior de R_1 quede conectada a tierra y que R_1 quede conectada en paralelo con R_2 . También ocasiona que la parte superior de R_C quede conectada a tierra. Asimismo, la sustitución de cada uno de los condensadores (C_1, C_2 y C_E) por un cortocircuito, causa que la fuente de señal (V_s, R_s) quede conectada a la base, el emisor a tierra y la carga (R_L) al colector. Como resultado de esto último, R_C y R_L quedan en paralelo, obteniéndose una resistencia equivalente de colector, que designaremos como r_c , igual a:

$$r_c = \frac{(R_C \times R_L)}{(R_C + R_L)} = \frac{(5K \times 10K)}{(5K + 10K)} = 3,33K$$

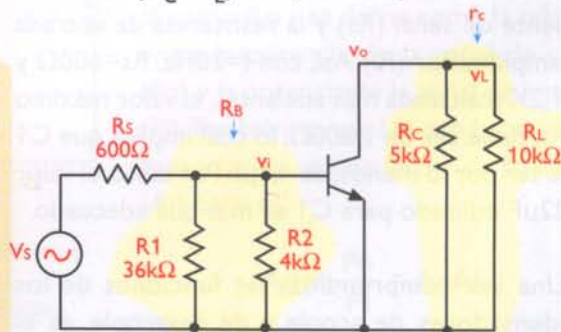


Figura 8.25c. Circuito equivalente para la señal de CA del amplificador de la figura 8.25a

Esta resistencia se denomina **resistencia de colector para señal**. La misma juega un papel importante en la determinación de la **ganancia de voltaje** (A_v) del amplificador, debido a que limita las variaciones de la corriente de colector alrededor a su posición de reposo (I_{CQ}) en condiciones de señal. Asimismo, al quedar R_1 y R_2 en paralelo, se obtiene una resistencia equivalente de base, que designaremos como R_B , igual a:

$$R_B = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{36K \times 4K}{36K + 4K} = 3,6k\Omega$$

Esta resistencia juega un papel importante en la determinación de la **impedancia de entrada** (Z_i) del amplificador, como veremos enseguida.

Impedancia de entrada (Z_i)

Para calcular la impedancia de entrada de nuestro amplificador, es conveniente introducir el concepto de **resistencia dinámica de base**, definida como la oposición que ofrece la unión base-emisor a las variaciones de la corriente de base producidas por la señal de entrada. La resistencia dinámica de base, también llamada **impedancia de entrada de base**, se denota como r'_b (léase «r prima b»), se mide en ohmios (Ω) y se evalúa mediante la siguiente fórmula:

$$r'_b = \frac{25mV}{I_B} = \beta \times \left(\frac{25mV}{I_E} \right)$$

siendo I_B e $I_E = \beta I_B$, en su orden, las corrientes de base y de emisor en condiciones de polarización, y β la ganancia de corriente del transistor. En nuestro caso, $I_E = 1,3mA$ y $\beta = 100$. Por tanto:

$$r'_b = \beta \times \left(\frac{25mV}{I_E} \right) = 100 \times \left(\frac{25mV}{1,3mA} \right) = 1,92k\Omega$$

Esta resistencia, al quedar en paralelo con R_B , determina la **impedancia de entrada** (Z_i) del amplificador, **figura 8.25d**. Por tanto:

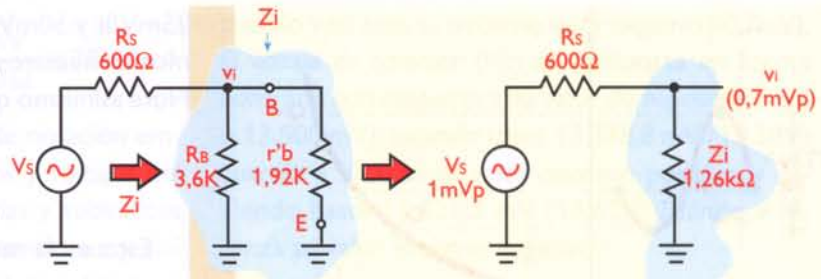


Figura 8.25d. Determinación de la impedancia de entrada del amplificador

$$Z_i = \frac{r'_b \times R_B}{r'_b + R_B}$$

En nuestro caso, $r'_b = 1,92k\Omega$ y $R_B = 3,6k\Omega$. Por tanto,

$$Z_i = 1,26 k\Omega$$

Esta es la impedancia de entrada de nuestro amplificador. Su efecto es limitar el voltaje de señal disponible a la entrada (v_i), causando que sea inferior al voltaje entregado por la fuente de señal (v_s). En nuestro caso, asumiendo que v_s tiene un valor pico de $1mV$ y la resistencia interna de la fuente de señal (R_s) es 600Ω ó $0,6K$, los valores pico, y pico a pico de la señal de entrada (v_i), son:

$$v_{i(pico)} = v_s \times \left(\frac{Z_i}{Z_i + R_s} \right) = 1mV \times \left(\frac{1,26K}{1,26K + 0,6K} \right)$$

$$v_{i(pico)} = 0,68mV \approx 0,7mV$$

$$v_{i(pico \ a \ pico)} = 2 \times v_{i(pico)} = 1,4mV$$

Funcionamiento con señal pequeña

Cuando se acopla la señal de voltaje de entrada (V_i) a la base del transistor, las variaciones de la misma hacen que el punto trabajo (Q) de la unión base-emisor suba y baje alrededor de su posición estable, definida por V_{BEQ} e I_{EQ} ($0,7V$ y $1,3mA$, en nuestro caso). Esta situación se ilustra en la **figura 8.25(e)**. En otras palabras, el punto de trabajo cambia instantáneamente de posición de acuerdo a las variaciones de la señal de entrada. Cuando esta última alcanza su valor máximo positivo ($+0,7mV$), V_{be} sube hasta $707mV$ (Q_H), mientras que cuando alcanza su valor máximo negativo ($-0,7mV$), V_{be} baja hasta $693mV$ (Q_L).

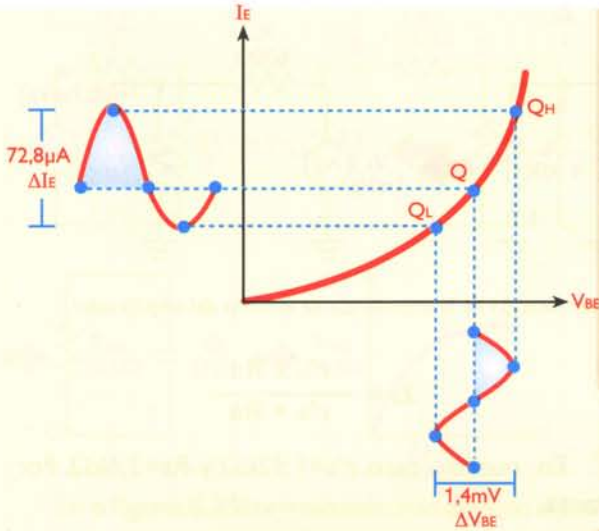


Figura 8.25e. Variaciones en el voltaje base-emisor (V_{be}) y la corriente de emisor (I_e) debidas a la señal de entrada. Deliberadamente se ha exagerado la curvatura de la característica para mostrar la distorsión que puede sufrir la corriente de emisor cuando la señal de entrada es muy grande.

Las variaciones del voltaje base-emisor producen, a su vez, grandes variaciones en la corriente de emisor (I_e). Para conocer la magnitud de estas variaciones, es necesario introducir el concepto de **resistencia dinámica de emisor**, definida como la oposición o resistencia que ofrece la unión base-emisor al paso de la corriente de emisor en presencia de señal. La resistencia dinámica de emisor, que juega un papel muy importante en el análisis de circuitos con transistores, se denota como r'_e , se mide en ohmios (Ω) y se define mediante la siguiente fórmula:

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_E} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E} = \frac{v_{be}}{i_e}$$

siendo I_E la corriente de polarización de emisor, $\Delta V_{BE}=v_{be}$ el incremento o cambio neto del voltaje base-emisor y $\Delta I_E=i_e$ el incremento o cambio neto de la corriente de emisor. En nuestro caso, $I_E=1,3\text{mA}$ y $\Delta V_{BE}=v_i=1,4\text{V}$ (valor pico a pico). Por tanto,

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{1,3\text{mA}} = 19.23\Omega$$

En la práctica, debido a las tolerancias de fabricación de los transistores, r'_e puede fluctuar entre

25mV/ I_E y 50mV/ I_E . Sin embargo, siempre asumiremos en nuestros cálculos que r'_e es igual a 25mV/ I_E . Note asimismo que:

$$r'_b = \beta r'_e$$

Esto es, la resistencia dinámica de la base es β veces más grande que la del emisor o, dicho de otra forma, r'_e se refleja a la entrada multiplicada por β . Puesto que r'_b interviene en la determinación de la impedancia de entrada (Z_i) del amplificador, esta última depende necesariamente del β , que como sabemos es un valor impredecible. Tal dependencia afecta también la amplitud de la señal de entrada (v_i) disponible, y, por tanto, la de la señal de salida (v_o). Esta es la principal desventaja de la configuración emisor común.

Normalmente, tomaremos como ΔV_{BE} el valor pico a pico del voltaje base-emisor y como ΔI_E el valor pico a pico de la corriente de emisor. De este modo, teniendo en cuenta que en nuestro ejemplo, la señal de entrada (v_i) produce un incremento ΔV_{BE} máximo de 1,4mV en la tensión V_{be} (0,7mV por encima y 0,7mV por debajo) con respecto a su valor de reposo (0,7V), el incremento ΔI_E máximo de la corriente de emisor es:

$$\begin{aligned} \Delta I_{E(\text{pico a pico})} &= \frac{\Delta V_{BE}}{r'_e} = \frac{1,4\text{mV}}{19,23\Omega} \\ &= 72,80 \mu\text{A} \end{aligned}$$

Lo anterior significa que cuando la señal de entrada (v_i) aplicada a la unión BE alcanza su valor máximo positivo (+0,7mV), la corriente de emisor (I_e) sube 36,40 μA (la mitad de 72,80 μA) con respecto a su valor de reposo (1,3mA ó 1.300 μA), alcanzando un valor máximo de 1.336,4 μA . Asimismo, cuando la señal de entrada alcanza su valor máximo negativo (-0,7mV), la corriente de emisor baja 36,40 μA con respecto su valor de reposo, alcanzando un valor mínimo de 1.263,6 μA . Por tanto, la variación total ha sido de 72,80 μA pico a pico. Esta misma variación es la que experimenta la corriente de colector. Por tanto:



$$\Delta I_E = \Delta I_C = i_c = \frac{\Delta V_{BE}}{r'_e} = \frac{1,4\text{mV}}{19,23\Omega} = 72,80\mu\text{A}$$

Observe las diferentes formas de notación empleadas para designar las corrientes y voltajes del circuito. Utilizamos letras mayúsculas y subíndices mayúsculos (I_E) para referirnos a tensiones y corrientes estáticas o de polarización; letras minúsculas y subíndices minúsculos (i_e) para referirnos a corrientes dinámicas o de señal; y letras mayúsculas con subíndices minúsculos ($I_E = I_E + i_e$) para referirnos a corrientes y tensiones totales, es decir, que varían por encima y por debajo de sus valores de reposo. Los incrementos o variaciones netas son asimilables para efectos de análisis, a valores instantáneos de corrientes y voltajes de señal ($\Delta I_E = i_e$).

Ganancia de voltaje (A_v)

Las variaciones en la corriente de colector (ΔI_C) producen a su vez, por la ley de Ohm, variaciones de voltaje sobre la resistencia equivalente de colector (r_c). Puesto que esta última representa la combinación en paralelo de la resistencia de colector (R_C) y la resistencia de carga (R_L), las variaciones de voltaje sobre r_c son las mismas que experimentan el voltaje de salida (V_o) y el voltaje sobre la carga (V_L). Por tanto:

$$v_o = v_L = \Delta I_C \times r_c = i_c \times r_c$$

En nuestro caso, $\Delta I_C = 72,80 \mu\text{A}$ y $r_c = 3,33\text{k}\Omega$. Por tanto, los valores pico y pico a pico del voltaje de salida de señal (v_o) en nuestro amplificador son:

$$v_{o(pp)} = \Delta I_C \times r_c = 72,80\mu\text{A} \times 3,33\text{k}\Omega = 242,4 \text{ mV}$$

$$v_{o(\text{pico})} = \frac{V_{o(pp)}}{2} = 121,2 \text{ mV}$$

Lo anterior significa que el voltaje real sobre la resistencia de colector (V_{rc}) varía, como máximo, 121,2 mV (la mitad de 242.4mV) por encima y por debajo de su valor de reposo (6,5V o 6.500mV), subiendo hasta 6.621,2 mV (6,62V) cuando la señal de entrada (v_i) alcanza su valor máximo positivo (+0,7mV) y bajando hasta 6.378,8 mV (6,38V)

cuando v_i alcanza su máximo valor negativo (-0,7mV). El voltaje de colector (V_C) se comporta en forma contraria con respecto a su valor de reposo (13,5V o 13.500 mV), bajando hasta 13.378,8 mV (13,38V) cuando v_i alcanza su valor máximo positivo, y subiendo hasta 13.621,2 mV (13,62V) cuando v_i alcanza su valor máximo negativo.

Lo anterior se debe a que $V_C = V_{CC} - V_{rc}$, tanto en condiciones estáticas como de señal. Por tanto, como V_{CC} es constante (20V, en nuestro caso), si aumenta V_{rc} , tiene necesariamente que disminuir V_C , y viceversa. Puesto que $v_c = v_o$, podemos entonces afirmar que las variaciones de voltaje de la señal de salida (v_o) están 180° fuera de fase con respecto a las variaciones de voltaje de la señal de entrada (v_i). En otras palabras, **la señal de salida aparece amplificada pero invertida con respecto a la señal de entrada**. De todos modos, la ganancia de voltaje (A_v) es la relación entre la amplitud de la señal de voltaje de salida y la amplitud de la señal de entrada. Esto es:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i}$$

$$A_v(\text{dB}) = 20\log A_v$$

En nuestro caso, $v_o = 242,4 \text{ mV}$ y $v_i = 1,4 \text{ mV}$ (valores pico a pico). Por tanto, la ganancia de voltaje (A_v) del amplificador es:

$$A_v = \frac{242,4\text{mV}}{1,4\text{mV}} = 173$$

$$A_v(\text{dB}) = 20\log A_v = 45 \text{ dB}$$

Este resultado significa que el voltaje de señal en la salida (v_o) es 173 veces más grande que en la entrada (v_i), o, lo que es lo mismo, está 45 dB por encima. Esta ganancia es la misma para todos los valores instantáneos de la señal de entrada, independientemente de su forma de onda y de la información que represente (voz, música, etc.). Por esta razón, mientras la señal de entrada se mantenga «pequeña» y el punto de trabajo del amplificador esté correctamente ubicado, la señal de salida será una réplica ampliada pero fiel de la señal de entrada. Esta es la esencia de los amplificadores clase A.

Como regla práctica, una señal se considera «pequeña» cuando el valor pico a pico de la variación de corriente que produce en el emisor (ΔI_E o i_e) es, como máximo, el 10% de la corriente de polarización de emisor (I_E). En nuestro caso, $I_E = 1,3\text{mA}$. Por tanto, ΔI_E debe mantenerse por debajo de $130\mu\text{A}$. Este límite se alcanzaría con un voltaje de entrada (v_i) de $2,5\text{mVpp}$. Bajo esta condición, la variación máxima de V_o sería del orden de $432,5\text{mV}$.

Note que, desde el punto de vista de la fuente de la señal, la ganancia de voltaje real de la etapa, que designaremos como $A'v$, es menor que el valor antes obtenido ($A_v = 173$) debido que el voltaje entregado por la misma ($v_s = 1\text{mVp}$) es mayor que el que entra al amplificador ($v_i = 0,7\text{mVp}$). El resto ($0,3\text{mVp}$) se pierde en la resistencia interna (R_s). Por tanto:

$$A'v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{121,2\text{mV}}{1\text{mV}} = 121$$

$$A'v(\text{dB}) = 20\log(121) = 41,7\text{ dB}$$

Impedancia de salida (Z_o)

Nuestro amplificador tiene también una **impedancia de salida (Z_o)**, la cual interactúa con la resistencia de carga (R_L) para determinar la cantidad de señal resultante sobre esta última (V_L). Esta impedancia, vista por la carga, es igual a la resistencia equivalente en paralelo de la resistencia de colector (R_C) y la resistencia dinámica entre colector y emisor, que se conoce como r_{oe} , **figura 8.25f**. Esto es:

$$Z_o = R_C || r_{oe}$$

donde el símbolo «||» significa «en paralelo con».

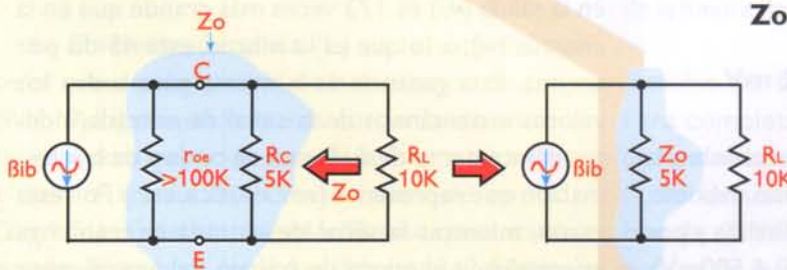


Figura 8.25f. Determinación de la impedancia de salida del amplificador. El transistor actúa como una fuente de corriente de valor $i_c = \text{Bib}$ con una resistencia interna igual a r_{oe} . Esta última equivale al inverso de la admitancia de salida (h_{oe}).

El valor de r_{oe} es normalmente muy alto comparado con el de R_C , por ejemplo $100\text{k}\Omega$ contra $3,6\text{k}\Omega$, como en este caso. Por esta razón generalmente se ignora. De este modo, la impedancia de salida del amplificador (Z_o) es prácticamente igual al valor de la resistencia de colector (R_C). Esto es:

$$Z_o = R_C$$

En nuestro caso, $R_C = 5\text{k}\Omega$. Por tanto:

$$Z_o = 5\text{k}\Omega$$

Esta es la impedancia de salida de nuestro amplificador. Para más exactitud, usted puede obtener indirectamente el valor de r_{oe} a partir de un parámetro conocido como **admitancia de salida**, que se denota como h_{oe} , se mide en siemens (S) ó mhos (Υ, Ω al invertida), y equivale al inverso o recíproco de r_{oe} . Esto es:

$$h_{oe} = \frac{1}{r_{oe}}$$

El valor de h_{oe} , que depende de la corriente de polarización de colector (I_C), es suministrado por los fabricantes de transistores en las hojas de datos de sus productos. En la **figura 8.21(i)** se muestra como ejemplo la curva característica de admitancia de salida típica del transistor **2N3904**. Por tanto, en nuestro caso, donde $I_C = 1,3\text{mA}$, h_{oe} es aproximadamente igual a $10\mu\text{mho}$. Así:

$$r_{oe} = \frac{1}{h_{oe}} = \frac{1}{10\mu\Upsilon} = 100\text{k}\Omega$$

$$Z_o = \frac{5\text{K} \times 100\text{K}}{5\text{K} + 100\text{K}} = 4,76\text{k}\Omega$$

Este último ($4,76\text{ k}\Omega$) sería el valor exacto de la impedancia de salida de nuestro amplificador, el cual no difiere sustancialmente del valor aproximado calculado antes ($5\text{ k}\Omega$). Por tanto, para efectos prácticos, podemos asumir que siempre, en un amplificador en

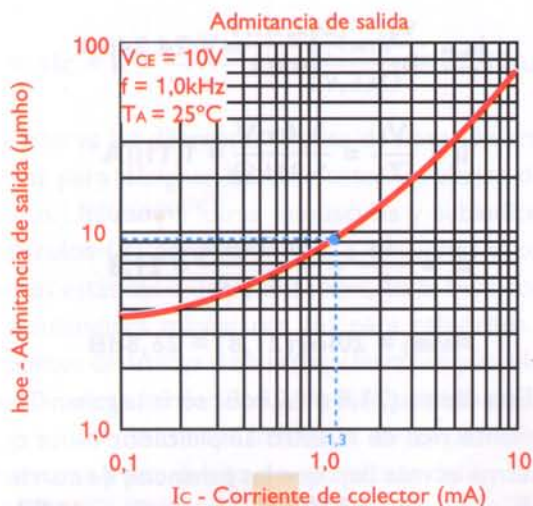


Figura 8.25g. Curva característica típica de admitancia de salida (2N3904)

emisor común, $Z_o = R_c$. Observe también que si se desconecta la carga ($R_L = \infty$), el voltaje de salida de señal (v_o) aumenta, porque aumenta la resistencia equivalente de colector (r_c). Bajo esta condición, la ganancia de voltaje (A_v) es la máxima posible. Usted puede demostrar fácilmente que esta última es igual a:

$$A_{vmax} = \frac{R_c}{r'_e}$$

$$A_{vmax}(dB) = 20 \log(A_{vmax})$$

En nuestro caso, $R_c = 5k\Omega$ y $r'_e = 19,23\Omega$. Por tanto:

$$A_{vmax} = \frac{5.000\Omega}{19,23\Omega} = 260$$

$$A_{vmax}(dB) = 20 \log(260) = 48,3dB$$

Así, para cualquier valor de la resistencia de carga (R_L), el valor correspondiente de la ganancia de voltaje (A_v) es, simplemente:

$$A_v = A_{vmax} \times \left(\frac{R_L}{R_c + R_L} \right)$$

Por ejemplo, si $R_L = 20K$, entonces:

$$A_v = 260 \times \left(\frac{20K}{5K + 20K} \right) = 208$$

En general, la ganancia de voltaje aumenta o disminuye a medida que aumenta o disminuye la resistencia de carga (R_L). Si esta última se pone en cortocircuito ($R_L = 0$), entonces $A_v = 0$. Por tanto, dependiendo del valor de R_L , la ganancia de voltaje de nuestro circuito puede variar, teóricamente, entre 0 (mínima) y 260 (máxima).

Ganancia de corriente

La aplicación de la señal de entrada (v_i) provoca pequeñas variaciones en la corriente de base (i_b) alrededor de su valor de reposo, las cuales, a su vez, producen grandes variaciones en la corriente de colector (i_c). Esta situación se ilustra en la **figura 8.25h**. La relación entre la variación de la corriente de colector (Δi_c) y la correspondiente variación en la corriente de base que la produce (Δi_b) define la ganancia de corriente **dinámica** o para señal del transistor, la cual se denota como β_{ac} o h_{fe} para distinguirla de la ganancia de corriente para continua (β , β_{cc} o h_{FE}). Por tanto:

$$\beta_{ac} = h_{fe} = \frac{\Delta i_c}{\Delta i_b} = \frac{i_c}{i_b}$$

El valor de β_{ac} o h_{fe} depende del valor de la corriente de polarización de colector (I_c) y es suministrado por los fabricantes en las hojas de da-

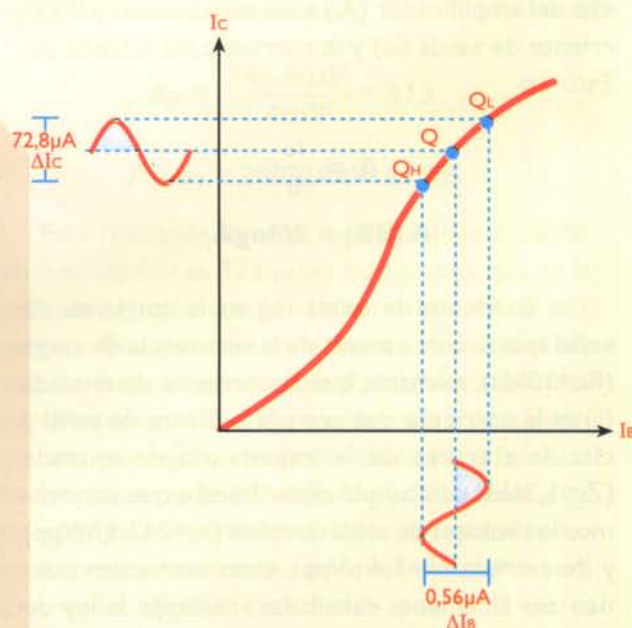


Figura 8.25h. Concepto de ganancia de corriente para señal

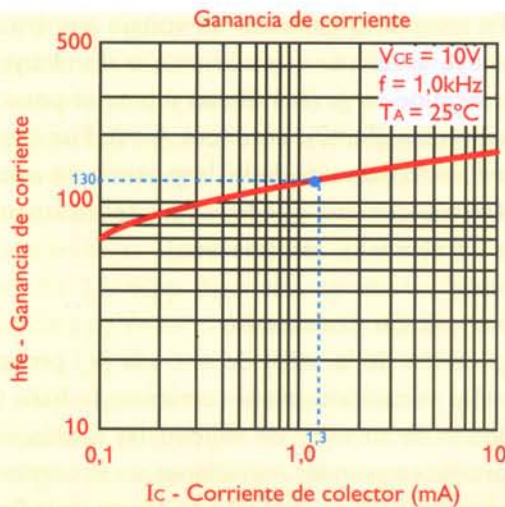


Figura 8.25i. Variación de la ganancia de corriente de señal (h_{fe}) en función de la corriente de polarización de colector (I_c)

tos de sus productos. En la figura 8.25i se muestra como ejemplo la curva característica típica de h_{fe} para un transistor 2N3904. En nuestro caso, donde $I_c=1,3\text{mA}$, h_{fe} es del orden de 130 veces, es decir **+42dB**. Esto implica que una variación de $1\mu\text{A}$ en la corriente de señal de base produce una variación de $130\mu\text{A}$ en la corriente de señal de colector. Este valor, que no debe ser confundido con la ganancia de corriente estática (β_{cc} o h_{FE}), es el que debe utilizarse en los cálculos de señal.

La **ganancia de corriente** propiamente dicha del amplificador (A_i) es la relación entre la corriente de salida (i_o) y la corriente de entrada (i_i). Esto es:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

$$A_i(\text{dB}) = 20\log A_i$$

La corriente de salida (i_o) es la corriente de señal que circula a través de la resistencia de carga ($R_L=10\text{k}\Omega$), mientras que la corriente de entrada (i_i) es la corriente que entrega la fuente de señal y circula a través de la impedancia de entrada ($Z_i=1,26\text{k}\Omega$) del amplificador. Puesto que conocemos los voltajes de señal de salida ($v_o=242,4\text{mVpp}$) y de entrada ($v_i=1,4\text{mVpp}$), estas corrientes pueden ser fácilmente calculadas mediante la ley de Ohm. Por tanto:

$$i_o = \frac{v_o}{R_L} = \frac{242,4\text{mV}}{10\text{k}\Omega} = 24,24\mu\text{A}$$

$$i_i = \frac{V_i}{Z_i} = \frac{1,4\text{mV}}{1,26\text{k}\Omega} = 1,11\mu\text{A}$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{24,24\mu\text{A}}{1,11\mu\text{A}} = 21,8$$

$$A_i(\text{dB}) = 20\log(21,8) = 26,8\text{dB}$$

Esta última (21,8 ó 26,8dB) sería la ganancia de corriente real de nuestro amplificador. Note que la misma es más baja que las ganancias de corriente dinámica ($\beta_{ac}=130$) y estática ($\beta_{cc}=100$) del transistor. No confunda estos tres términos.

Ganancia de potencia

El producto de la ganancia de voltaje (A_v) por la ganancia de corriente (A_i), define la ganancia de potencia (A_p) del amplificador. Esto es:

$$A_p = A_v A_i$$

$$A_p(\text{dB}) = 10 \times \log(A_p)$$

En nuestro caso, $A_v=173$ y $A_i=21,8$. Por tanto:

$$A_p = 173 \times 21,8 = 3.771,4$$

$$A_p(\text{dB}) = 10 \times \log A_p = 35,8\text{dB}$$

Esta última (35,8 dB) sería la ganancia de potencia de nuestro amplificador desde el punto de vista de la señal de entrada. Por tanto, por cada microvatío (μW) aplicado a la entrada del amplificador, se producen 3,8mW sobre la resistencia de carga ¿Cuál sería la ganancia de potencia desde el punto de vista de la fuente de señal? **Respuesta:** 34,2 dB. ¿Por qué?

Ancho de banda

Para completar el análisis de nuestro amplificador solamente nos falta determinar su respuesta de frecuencia, particularmente el **ancho de banda (BW)**, es decir la escala de frecuencias dentro de la cual la ganancia de voltaje (A_v) disminuye hasta 3dB con respecto a su valor nominal (45dB). Para ello debemos encontrar las frecuencias de corte inferior (f_L) y superior (f_H) que

limitan el ancho de banda. El valor de f_L , en particular, depende de las capacidades de los condensadores de acople y desacople (C_1 , C_2 , C_E). El valor de f_H , por su parte, depende de las capacidades internas del transistor y las capacidades parásitas presentes en el circuito, como resultado de los métodos de conexión y construcción utilizados en su ejecución física.

Para calcular la frecuencia de corte inferior (f_L) debemos calcular las frecuencias de corte inferiores debidas a cada uno de los condensadores y seleccionar la dominante, es decir la mayor de ellas. Llamaremos f_{L1} la frecuencia de corte inferior debida a C_1 , f_{L2} la debida a C_2 y f_{LE} la debida a C_E . La frecuencia de corte es simplemente la frecuencia a la cual la reactancia (X_C) del condensador particular considerado, es igual a la resistencia equivalente (R_{eq}) en serie con el mismo con las fuentes de voltaje o de corriente anuladas. Recuerde que **anular** una fuente de voltaje es sustituirla por un **cortocircuito** y anular una fuente de corriente es sustituirla por un **circuito abierto**. Esto es:

$$f_L = \frac{1}{2\pi X_C C} = \frac{1}{2\pi R_{eq} C}$$

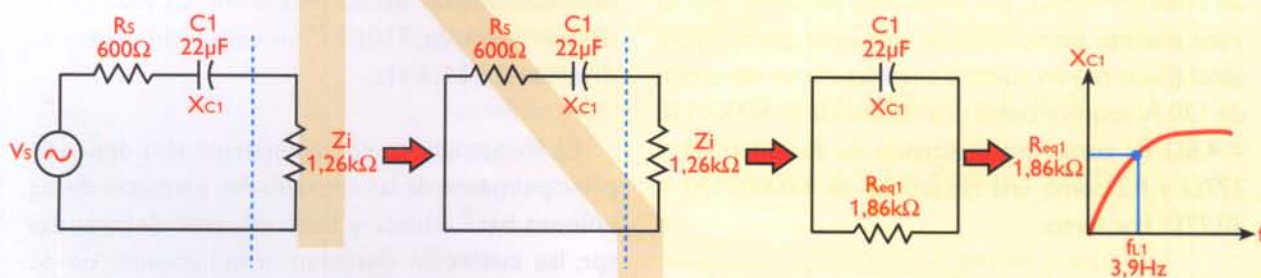


Figura 8.25j. Frecuencia de corte inferior (f_{L1}) debida a C_1 . Observe la anulación de la fuente de señal mediante su sustitución por un cortocircuito. Al hacer esto, R_s y Z_i quedan en serie entre sí y con el condensador C_1

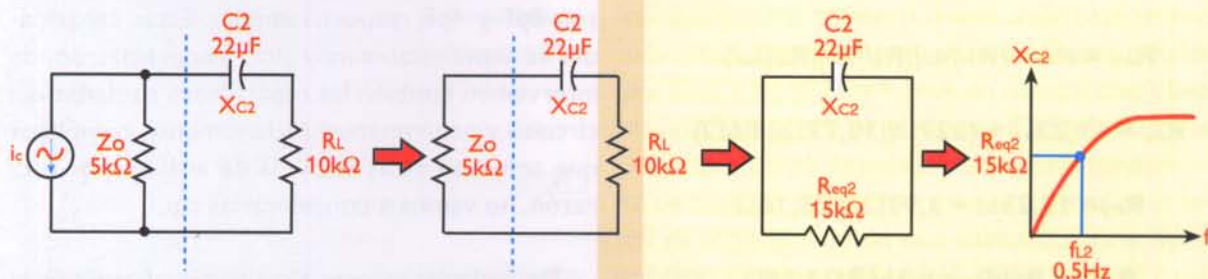


Figura 8.25k. Determinación de la frecuencia de corte inferior (f_{L2}) debida a C_2 . Observe la anulación de la fuente de corriente que representa la corriente de señal de colector (i_c) mediante su sustitución por un circuito abierto. Al hacer esto, R_L y Z_o quedan en serie entre sí y con el condensador C_2 .

En la **figura 8.25j** se muestra como ejemplo el proceso de determinación de f_{L1} . En este caso, la resistencia equivalente en serie (R_{eq1}) es la suma de la resistencia de la fuente de señal ($R_s=600\Omega$ ó $0,6k\Omega$) y la resistencia o impedancia de entrada del amplificador ($Z_i=1,26k\Omega$). Por tanto:

$$R_{eq1} = R_s + Z_i = 0,6k\Omega + 1,26k\Omega = 1,86k\Omega$$

$$f_{L1} = \frac{1}{(2\pi R_{eq1} C_1)} = \frac{1}{(6,28 \times 1,86k\Omega \times 22\mu F)} = 3,9 \text{ Hz}$$

En la **figura 8.25k** se muestra como ejemplo el proceso de determinación de f_{L2} . En este caso, la resistencia equivalente en serie (R_{eq2}) es la suma de la resistencia de la carga ($R_L=10k\Omega$) y la resistencia o impedancia de salida del amplificador ($Z_o=5k\Omega$). Por tanto:

$$R_{eq2} = Z_o + R_L = 5k\Omega + 10k\Omega = 15k\Omega$$

$$f_{L2} = \frac{1}{2\pi R_{eq2} C_2} = \frac{1}{6,28 \times 15k\Omega \times 22\mu F} = 0,5 \text{ Hz}$$

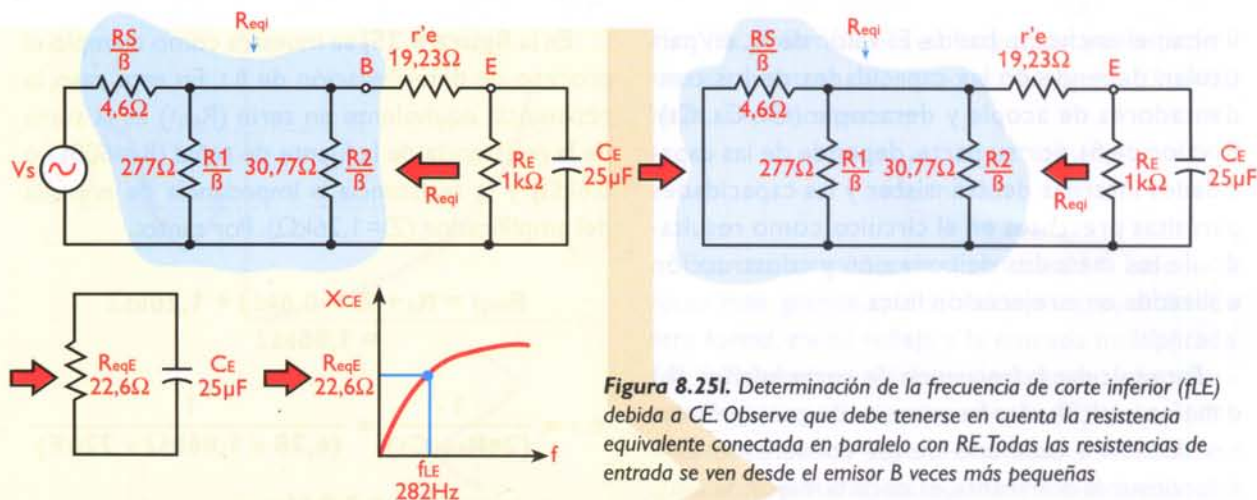


Figura 8.251. Determinación de la frecuencia de corte inferior (fLE) debida a CE. Observe que debe tenerse en cuenta la resistencia equivalente conectada en paralelo con RE. Todas las resistencias de entrada se ven desde el emisor B veces más pequeñas

En la figura 8.251 se muestra como ejemplo el proceso de determinación de fLE, que es más complejo. En este caso, la resistencia ReqE es la resultante del paralelo entre RE (1k Ω) y la resistencia equivalente a la suma de la resistencia dinámica de emisor (r'e=19,23Ω) con la resistencia del circuito de entrada «vista» desde el emisor. Llamaremos a esta última ReqI. Por tanto:

$$R_{eqE} = \frac{R_E \times R_{eqI}}{R_E + R_{eqI}}$$

El emisor «ve» todas las resistencias del circuito de entrada, incluyendo las resistencias de polarización de la base (R1=36kΩ y R2=4kΩ) y la resistencia de la fuente de señal (RS=600Ω), βac veces más pequeñas que su valor real. Por tanto, teniendo en cuenta que el β para señal (βac o hfe) en nuestro amplificador es del orden de 130, RS aparece como una resistencia de 600Ω/130 = 4,6Ω, R1 como una resistencia de 36.000Ω/130 = 277Ω y R2 como una resistencia de 4.000Ω/130 = 30,77Ω. Por tanto:

$$R_{eqI} = r'e + \left(\frac{R_1 || R_2 || R_S}{\beta_{ac}} \right)$$

$$R_{eqI} = r'e + (R_1/\beta_{ac} || R_2/\beta_{ac} || R_S/\beta_{ac})$$

$$R_{eqI} = 19,23\Omega + (227\Omega || 30,77\Omega || 4,6\Omega)$$

$$R_{eqI} = 19,23\Omega + 3,93\Omega = 23,16\Omega$$

$$R_{eqE} = R_E || R_{eqI} = 1k\Omega || 23,16\Omega$$

$$R_{eqE} = 22,6 \Omega$$

Bajo estas condiciones, la frecuencia de corte inferior (fLE) debida a CE es:

$$f_{LE} = \frac{1}{(2\pi R_{eqE} C_E)} = \frac{1}{(6,28 \times 22,6\Omega \times 25\mu F)} = 282 \text{ Hz} = f_L$$

Esta última (282 Hz) sería la frecuencia de corte inferior (fL) práctica de nuestro amplificador, ya que es la dominante con respecto a fL1 (3,9Hz) y fL2 (0,5Hz). Si deseamos disminuir este valor, digamos a 28,2Hz o menos, tendríamos que utilizar un condensador CE más grande, por ejemplo, 330μF. Con este último obtendríamos fL=21,3 Hz.

La frecuencia de corte superior (fH) depende principalmente de las capacidades parásitas de las uniones base emisor y base colector del transistor, las cuales se designan comúnmente, en su orden, como Cib y Cob. Para el transistor 2N3904, por ejemplo, los valores máximos de Cib y Cob son 8pF y 4pF, respectivamente. Estas capacidades se manifiestan a muy altas frecuencias, donde intervienen también las capacidades parásitas del circuito y ocurren muchos fenómenos complejos que ameritan otras técnicas de análisis. Por esta razón, no vamos a considerarlas aquí.

De cualquier manera, sirva como información el saber que la frecuencia de corte superior (fH) de nuestro amplificador es alta, de varios cientos de kHz.



Resumiendo, los parámetros característicos de nuestro amplificador en emisor común, considerando una resistencia de carga (R_L) de $10\text{k}\Omega$, una impedancia de fuente de señal (R_s) de 600Ω y una tensión de alimentación (V_{CC}) de $+20\text{V}$, son los siguientes:

Ganancia de voltaje (A_v): 173 (+45dB)
Ganancia de corriente (A_i): 21,8 (+26,8dB)
Ganancia de potencia (A_p): 3.771,4 (+35,8dB)
Impedancia de entrada (Z_i): $1,26\text{k}\Omega$
Impedancia de salida (Z_o): $5\text{k}\Omega$
Frecuencia de corte inferior de -3dB: 282Hz
Máximo nivel de señal de entrada (V_i): 2,5mVpp
Máximo nivel de señal de salida (V_o): 650mVpp
Punto de trabajo (Q): $I_{CQ}=1,3\text{mA}$, $V_{CQ}=6,3\text{V}$

De este modo hemos completado el análisis, paso a paso, de nuestro amplificador. Los procedimientos explicados son aplicables a cualquier amplificador de baja señal con transistores bipolares para tareas de baja y mediana frecuencia. Por esta razón, no los vamos a repetir en futuros análisis. No se deje intimidar por las fórmulas y manipulaciones matemáticas involucradas. Las mismas son muy sencillas, útiles y necesarias, porque nos permiten comprender y predecir cómo funciona y se comporta, cualitativa y cuantitativamente, un amplificador bajo determinadas condiciones. En el siguiente experimento comprobaremos todo lo aprendido hasta el momento, en forma práctica.

Experimento 8.1. Análisis de un amplificador de baja señal en emisor común

Objetivos

- Familiarizarse con las características y la operación de un amplificador de baja señal en la configuración emisor común (EC)
- Medir los voltajes y las corrientes de polarización de un amplificador EC
- Aprender a medir la ganancia de voltaje (A_v), la impedancia de entrada (Z_i) y la impedancia de salida (Z_o) de un amplificador.
- Confirmar la validez y exactitud de los procedimientos de análisis, explicados en la lección, mediante la comparación de los resultados esperados teóricamente con los obtenidos en la práctica
- Comprobar que en un amplificador EC la señal de salida está desfasada 180° con respecto a la señal de entrada
- Medir la respuesta de frecuencia de un amplificador EC
- Evaluar como varía la ganancia de voltaje de un amplificador EC con los diferentes valores de la resistencia de carga
- Determinar los factores que causan distorsión en un amplificador EC
- Utilizar el amplificador EC como un preamplificador de micrófono para una etapa de potencia

Materiales necesarios

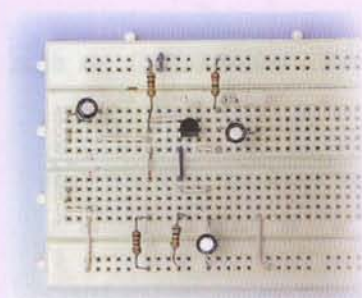
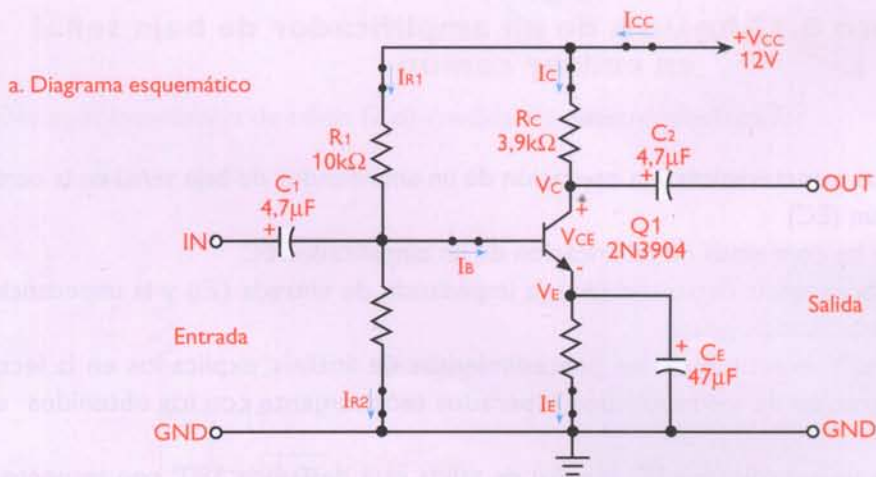
- 1 Transistor NPN de propósito general 2N3904 ó equivalente (Q1)
- 2 Resistencias de $10\text{k}\Omega$, 1/4W (R_1 , R_{L1})
- 1 Resistencia de $2,2\text{k}\Omega$, 1/4W (R_2)
- 1 Resistencia de $3,9\text{k}\Omega$, 1/4W (R_C)
- 2 Resistencias de $1\text{k}\Omega$, 1/4W (R_E , R_{L2})
- 1 Resistencia de $100\text{k}\Omega$, 1/4W (R_{L3})
- 2 Condensadores electrolíticos de $4,7\mu\text{F}/25\text{V}$ (C_1 , C_2)
- 1 Condensador electrolítico de $47\mu\text{F}/25\text{V}$ (C_E)
- 1 Micrófono electret (MIC1) (opcional)
- 1 Resistencia de $3,3\text{k}\Omega$, 1/4W (R_M) (opcional)
- Alambre telefónico #24AWG para conexiones

Equipos necesarios

- 1 Protoboard o tablero de conexiones sin soldaduras
- 1 Fuente de alimentación regulada de 12V, 1A (VCC)
- 1 Multímetro digital (DMM)
- 1 Osciloscopio de dos canales
- 1 Generador de audio con una impedancia de salida de 600Ω (Hung Chang 920AC ó similar) (V_s, R_s)
- 1 Amplificador de potencia de audio (kit **CEKIT EF-17** o similar) (opcional)

Procedimiento

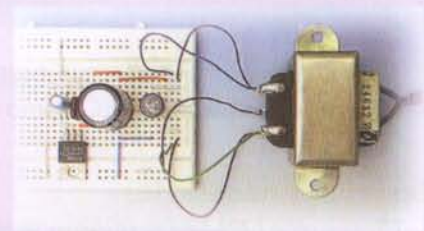
1. **Análisis de corriente continua.** Arme sobre el protoboard el circuito de la **figura 8.26a**, correspondiente a un amplificador de baja señal en emisor común desarrollado alrededor de un transistor bipolar (Q1). Asegúrese de utilizar puentes de alambre fácilmente removibles en las ramas indicadas para facilitar la medición de las corrientes del circuito (I_B, I_C , etc.). En la **figura 8.26b** se muestra la fotografía de nuestro montaje experimental. Si su multímetro posee la función de prueba de transistores, antes de instalar Q1 mida su ganancia de corriente estática (β, β_{CC} o h_{FE}), **figura 8.26c**. Nosotros obtuvimos $h_{FE}=203$



b. Fotografía del montaje



c. Midiendo el β estático (h_{FE}) del transistor

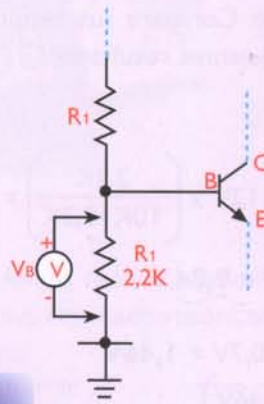


d. Detalle de la fuente de alimentación

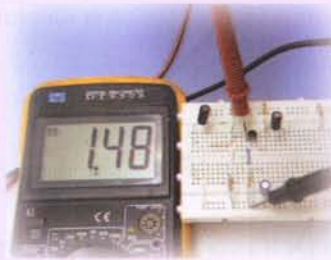
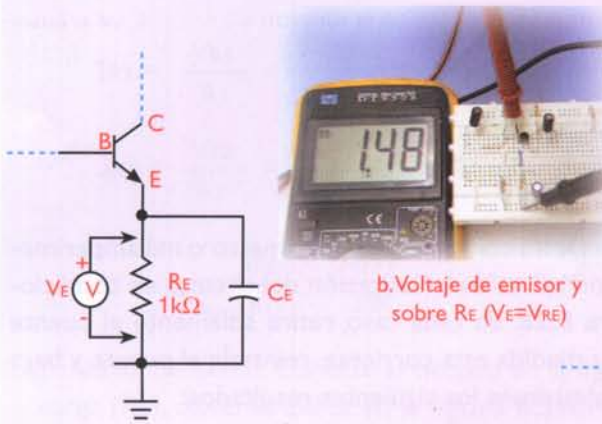
Figura 8.26. Amplificador en emisor común polarizado, sin fuente de señal ni carga. Nosotros utilizamos como fuente de alimentación de 12V (VCC) una construida alrededor de un regulador LM340T12, tal como se explicó en la **lección 7**. Usted puede hacer lo mismo o utilizar una fuente de 12V ya ensamblada, tal como la fuente **EF-10** de **CEKIT**, construida en uno de los proyectos centrales de este curso.

2. Voltajes de polarización. Configurando su DMM como voltímetro de CC, mida todos los voltajes de polarización del circuito en condiciones de reposo, como se indica en la **figura 8.27**. Nosotros obtuvimos los siguientes resultados:

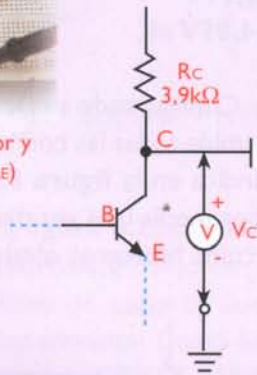
$$\begin{aligned} V_{CC} &= 11,99 \text{ V} \\ V_B = V_{R1} &= 2,14 \text{ V} \\ V_C &= 6,22 \text{ V} \\ V_E = V_{RE} &= 1,48 \text{ V} \\ V_{CE} &= 4,73 \text{ V} \\ V_{BE} &= 0,67 \text{ V} \\ V_{R2} &= 9,84 \text{ V} \\ V_{RC} &= 5,75 \text{ V} \end{aligned}$$



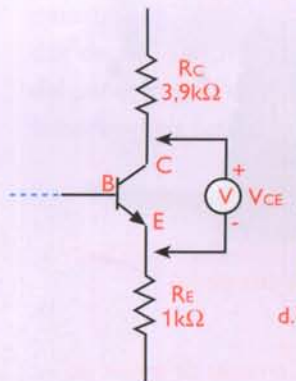
a. Voltaje de base y sobre R2 ($V_B = V_{R2}$)



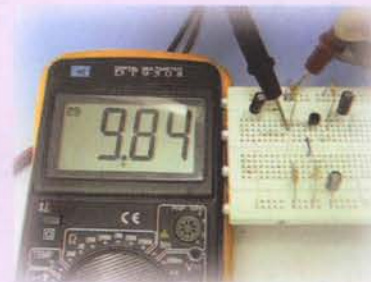
b. Voltaje de emisor y sobre RE ($V_E = V_{RE}$)



c. Voltaje de colector (V_C)



d. Voltaje colector-emisor (V_{CE})



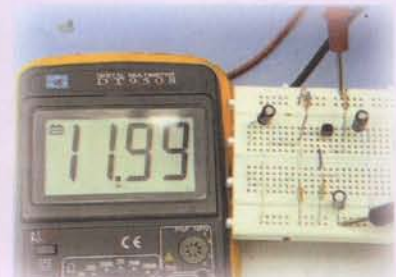
e. Voltaje sobre R1 (V_{R1})



f. Voltaje sobre RC (V_{RC})



g. Voltaje base-emisor (V_{BE})



h. Voltaje de alimentación (V_{CC})

Figura 8.27 Midiendo los voltajes de polarización

3. Calcule los mismos voltajes anteriores en forma teórica, siguiendo el método de análisis en corriente continua simplificado, explicado en la lección. Asuma que: el valor de las resistencias corresponde al indicado por su código de colores; $V_{CC}=12V$; $V_{BE}=0,7V$; I_B es muy pequeña comparada con I_{R1} e I_{R2} ; $\beta = 203$ (medido). Compare sus resultados teóricos con los medidos en la práctica. Nosotros obtuvimos los siguientes resultados:

$$V_{CC} = 12V$$

$$V_B = V_{R2} = V_{CC} \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = 12V \times \left(\frac{2,2K}{10K + 2,2K} \right) = 2,16V$$

$$V_{R1} = V_{CC} - V_{R2} = 12V - 2,16V = 9,84V$$

$$V_{BE} = 0,7V$$

$$V_E = V_{RE} = V_B - V_{BE} = 2,16V - 0,7V = 1,46V$$

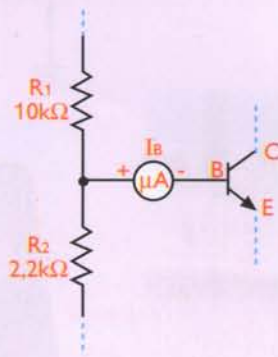
$$V_{RC} = I_C \times R_C = \left(\frac{V_E}{R_E} \right) \times R_C = \left(\frac{1,46V}{1K} \right) \times 3,9K = 5,69V$$

$$V_C = V_{CC} - V_{RC} = 12V - 5,69V = 6,31V$$

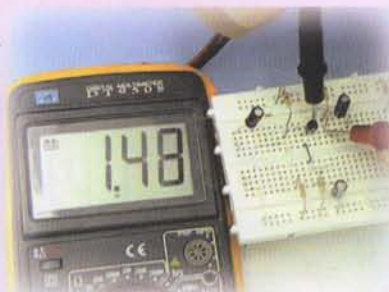
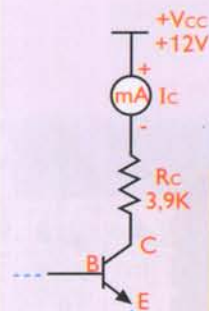
$$V_{CE} = V_C - V_E = 6,31V - 1,46V = 4,85V$$

4. **Corrientes de polarización.** Configurando su DMM como microamperímetro o miliamperímetro de CC, según corresponda, mida todas las corrientes de polarización del circuito en condiciones de reposo (Q), como se indica en la **figura 8.28**. En cada caso, retire solamente el puente asociado a la corriente que desea medir. Una vez medida esta corriente, reinstale el puente y haga lo mismo en otra parte del circuito. Nosotros obtuvimos los siguientes resultados:

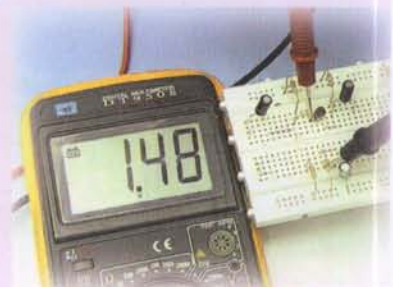
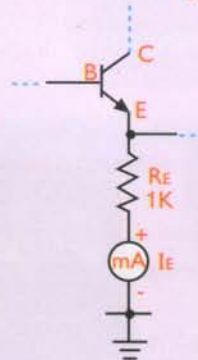
- $I_B = 8,4\mu A$
- $I_C = 1,48mA$
- $I_E = 1,48mA$
- $I_{R1} = 0,99mA$
- $I_{R2} = 0,98mA$
- $I_{CC} = 2,47mA$



a. Corriente de base (I_B)

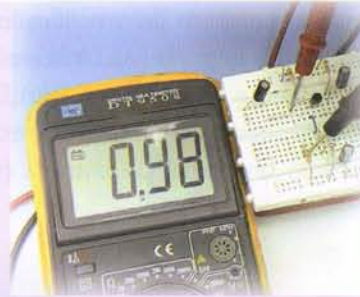
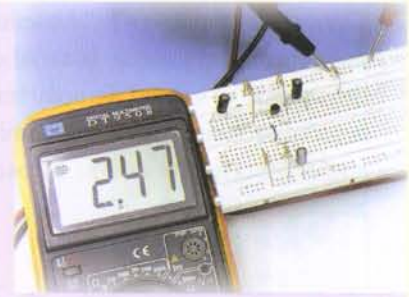


b. Corriente de colector (I_C)



c. Corriente de emisor (I_E)

Figura 8.28. Midiendo las corrientes de polarización

d. Corriente a través de R1 (I_{R1})e. Corriente a través de R2 (I_{R2})f. Corriente de alimentación (I_{cc})

5. Calcule las mismas corrientes anteriores en forma teórica, siguiendo el mismo método anterior y haciendo las mismas presunciones. Compare sus resultados teóricos con los medidos en la práctica. Nosotros obtuvimos los siguientes resultados:

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R1} = \frac{9,84V}{10K} = 0,98 \text{ mA}$$

$$I_E = I_{RE} = \frac{V_{RE}}{R_E} = \frac{1,46V}{1K} = 1,46 \text{ mA}$$

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R2} = \frac{2,16V}{2,2K} = 0,98 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1,46 \text{ mA}}{203} = 7,19 \mu\text{A}$$

$$I_{cc} = I_{RC} = \frac{V_{RC}}{R_C} = \frac{5,69V}{3,9K} = 1,46 \text{ mA}$$

$$I_{cc} = I_C + I_{R1} = 1,46 \text{ mA} + 0,98 \text{ mA} = 2,44 \text{ mA}$$

6. **Análisis de señal.** Conecte al circuito de la **figura 8.26a** la fuente de señal (v_s) y la resistencia de carga (R_L), como se indica en la **figura 8.29a**. Utilice como carga una resistencia de $10k\Omega$ (R_{L1}) y como fuente de señal un generador de señales de audio de buena calidad. En la **figura 8.29b** se muestra una fotografía de nuestro montaje experimental. Como fuente de señal utilizamos un generador de audio **Hung Chang 9204C**, distribuido por **CEKIT**. En la **figura 8.29c** se muestra el aspecto del panel frontal de este instrumento, con la indicación de sus partes y controles relevantes para este experimento. Este tipo de equipos se enseñan a manejar en la sección de **Electrónica Práctica**.

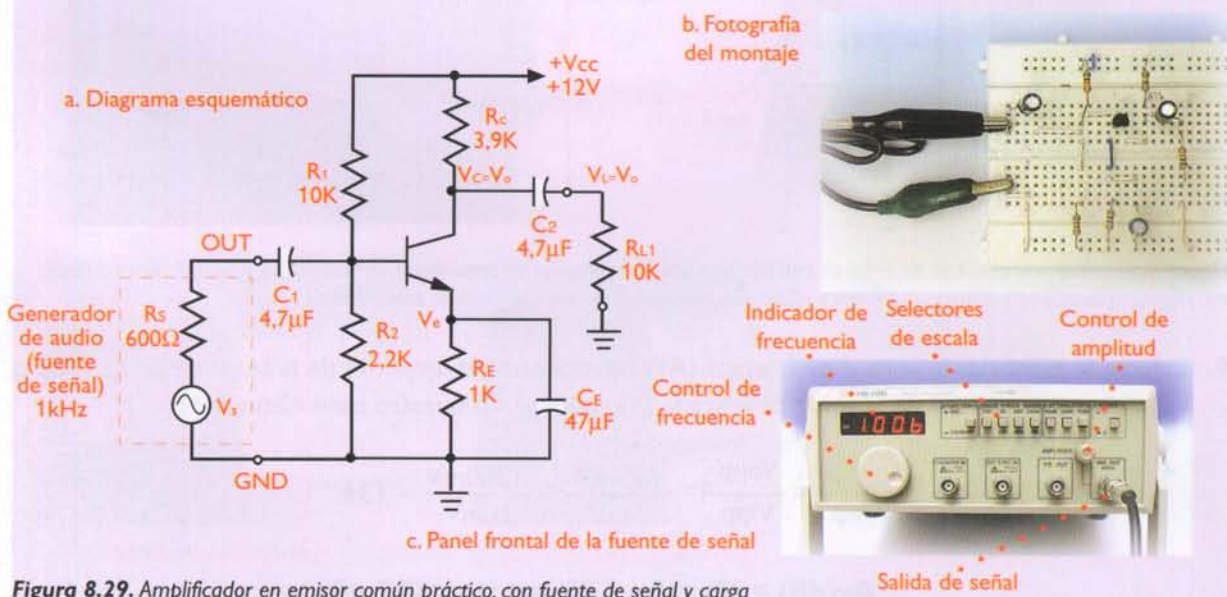


Figura 8.29. Amplificador en emisor común práctico, con fuente de señal y carga

7. Conecte el canal 1(X) del osciloscopio a la entrada del amplificador, como se indica en la **figura 8.30**, para visualizar y medir la señal de voltaje de entrada (v_i). Utilice el modo de acoplamiento «AC» para desacoplar el voltaje de polarización presente en ese punto (V_B). De este modo, solamente observará la señal propiamente dicha. Manipule entonces los controles de frecuencia y de voltaje del generador de audio hasta observar en el osciloscopio una señal de entrada (v_i) de 1kHz y 5mVp (10mVpp) de amplitud (V_{ip} o V_{ipp}).

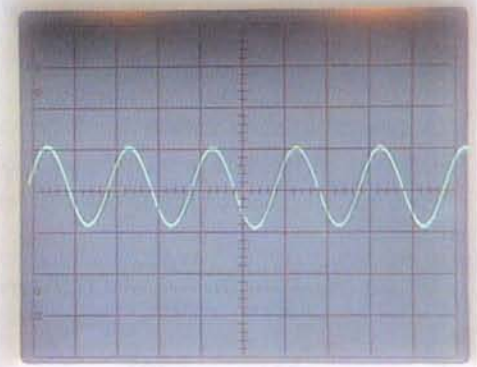
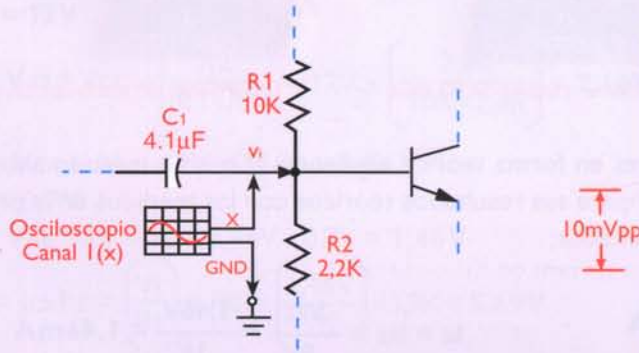


Figura 8.30. Midiendo el voltaje de señal de entrada (v_i). Sitúe los controles de sensibilidad vertical (V/div) y base de tiempo (s/div) del osciloscopio en las posiciones «5mV/div» y «0.5s/div», para observar unos cinco ciclos completos de la señal.

8. Conecte el canal 2(Y) del osciloscopio a la salida del amplificador como se indica en la **figura 8.31** para visualizar y medir la señal de voltaje de salida (V_o). Nuevamente, utilice el modo de acoplamiento «AC» para desacoplar el voltaje de polarización presente en ese punto (V_C). De este modo, solamente observará la señal de salida propiamente dicha. Mida entonces la frecuencia (f) y la amplitud (V_{op} o V_{opp}) de la señal obtenida. En nuestro caso obtuvimos una onda seno perfecta de 1kHz y 680mVp (1,36Vpp).

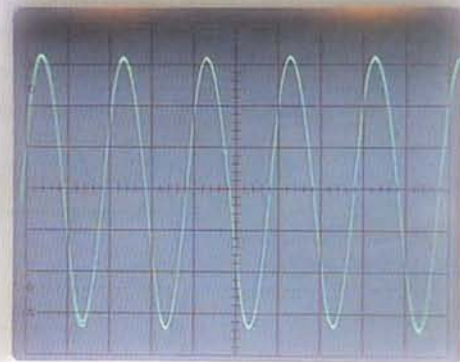
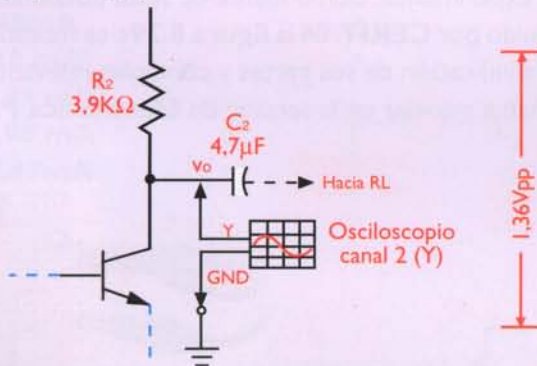


Figura 8.31. Midiendo el voltaje de señal de entrada (v_o). Sitúe los controles de sensibilidad vertical (V/div) y base de tiempo (s/div) del osciloscopio en las posiciones «0.2V/div» y «0.5s/div», para observar unos cinco ciclos completos de la señal.

9. Calcule la ganancia de voltaje de la etapa (A_v) relacionando la amplitud de la señal de salida (V_{op} o V_{opp}) con la amplitud de la señal de entrada (V_{ip} o V_{ipp}). En nuestro caso obtuvimos:

$$\frac{V_{op}}{V_{ip}} = \frac{V_{opp}}{V_{ipp}} = \frac{680\text{mV}}{5\text{mV}} = \frac{1360\text{mV}}{10\text{mV}} = 136$$

$$A_v(\text{dB}) = 20\log(A_v) = 20\log(136) = 42,7 \text{ dB}$$

10. Siguiendo el método de análisis en condiciones de señal explicado en la lección, calcule teóricamente el valor esperado de la ganancia de voltaje (A_v) para este circuito. Compárelo con el obtenido en la práctica. Asuma inicialmente que $r'e=25\text{mV}/I_E$, aunque en la práctica puede ser hasta el doble de este valor ($50\text{mV}/I_E$). En nuestro caso obtuvimos:

$$r'e = \frac{25\text{mV}}{I_E} = \frac{25\text{mV}}{1,46\text{mA}} = 17,12 \Omega$$

$$A_v = \left(\frac{R_C}{r'e} \right) \times \left(\frac{R_L}{R_C + R_L} \right) = \left(\frac{3,9\text{K}}{17,12\Omega} \right) \times \left(\frac{10\text{K}}{3,9\text{K} + 10\text{K}} \right) = 163 = 44,3 \text{ dB}$$

Esta ganancia (163), basada en la presunción de que $r'e=25\text{mV}/I_E$, es 1,2 veces mayor que la obtenida en la práctica (136), lo cual implica que el valor real de $r'e$ debe ser:

$$r'e \text{ (real)} = \frac{1,2 \times 25\text{mV}}{I_E} = \frac{30\text{mV}}{I_E} = 20,55\Omega$$

Calculando nuevamente la ganancia de voltaje (A_v) bajo esta condición, obtenemos:

$$A_v = \left(\frac{R_C}{r'e} \right) \times \left(\frac{R_L}{R_C + R_L} \right) = \left(\frac{3,9\text{K}}{20,55\Omega} \right) \times \left(\frac{10\text{K}}{3,9\text{K} + 10\text{K}} \right) = 136,5 = 42,7 \text{ dB}$$

11. Repita los pasos 8, 9 y 10 utilizando las resistencias de carga de $1\text{k}\Omega$ (R_{L2}) y de $100\text{k}\Omega$ (R_{L3}). Notará que, en el primer caso, la ganancia de voltaje (A_v) disminuye, mientras que en el segundo aumenta con respecto a su valor para $R_L=10\text{k}\Omega$. Hecho esto, instale nuevamente esta última (R_{L1}) y continúe con el siguiente paso.

12. Observe al mismo tiempo las dos señales en el osciloscopio, como se indica en la **figura 8.32**. Notará que la señal de salida (v_o) aparece amplificada pero invertida con respecto a la señal de entrada (v_i). Por tanto, el circuito introduce un desplazamiento de fase de 180° . Ésta es una característica muy importante de los amplificadores en emisor común.

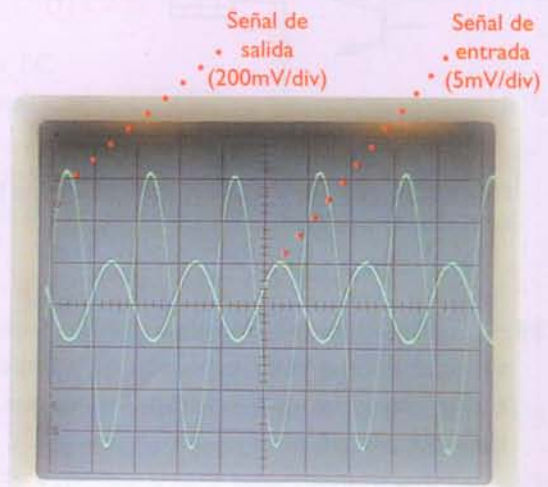


Figura 8.32. Comparando la fase de la señal de salida (v_o) con respecto a la de entrada (v_i)

13. Impedancia de salida. Retire la resistencia de carga (R_L). Mida entonces la amplitud del voltaje de señal de salida bajo esta condición, como se indica en la **figura 8.33**. Llame a este voltaje $V_{o'p}$ para distinguirlo del voltaje de salida con carga (V_{op}). En nuestro caso obtuvimos $V_{o'p} = 950\text{mVp}$ ($1,9\text{Vpp}$). Hecho esto, reinstale R_L . Calcule entonces la impedancia de salida del amplificador (Z_o) a partir de la siguiente fórmula, basada en el hecho de que Z_o y la resistencia de carga (R_L) forman un divisor de voltaje excitado por $V_{o'p}$:

$$V_{op} = V_{o'p} \times \left(\frac{R_L}{Z_o + R_L} \right) \qquad Z_o = R_L \times \left(\frac{V_{o'p}}{V_{op}} - 1 \right)$$

En nuestro caso, $V_{o'p} = 950\text{mV}$ y $V_{op} = 680\text{mV}$. Por tanto:

$$Z_o = 10\text{K} \times \left(\frac{950\text{mV}}{680\text{mV}} - 1 \right) = 3,97 \text{ k}\Omega$$

Esta es la impedancia de salida (Z_o), medida, de nuestro amplificador

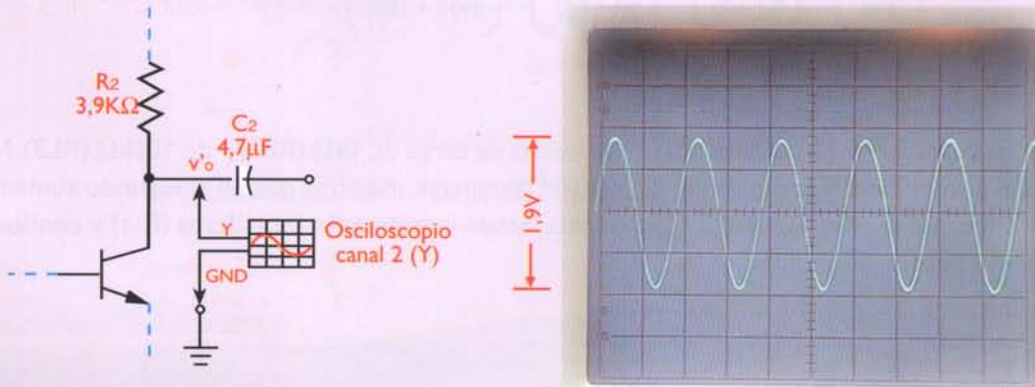


Figura 8.33. Midiendo el voltaje de salida de señal sin carga (v_o') como paso previo para el cálculo de la impedancia de salida (Z_o) del amplificador

14. Siguiendo el método de análisis en condiciones de señal explicado en la lección, calcule teóricamente el valor esperado de la impedancia de salida (Z_o) para este circuito. Compárelo con el obtenido en la práctica. Asuma que r_{oe} es muy grande comparada con RC . En nuestro caso obtuvimos:

$$Z_o = RC = 3,9\text{k}\Omega$$

15. Impedancia de entrada (Z_i). Retire de la entrada del amplificador la fuente de señal (V_s). Mida entonces la amplitud del voltaje de señal que entrega esta última en condiciones de circuito abierto, como se indica en la **figura 8.34**. Llame a este voltaje $V_{i'p}=V_s$ para distinguirlo del voltaje de entrada con carga (V_{ip}). En nuestro caso obtuvimos $V_{i'p} = V_s = 7\text{mV}_p$ (14mV_{pp}). Hecho esto, vuelva a conectar la fuente de señal. Calcule entonces la impedancia de entrada del amplificador (Z_i) a partir de la siguiente fórmula, basada en el hecho de que Z_i y la resistencia de la fuente de señal (R_s) forman un divisor de voltaje excitado por V_s o $V_{i'p}$:

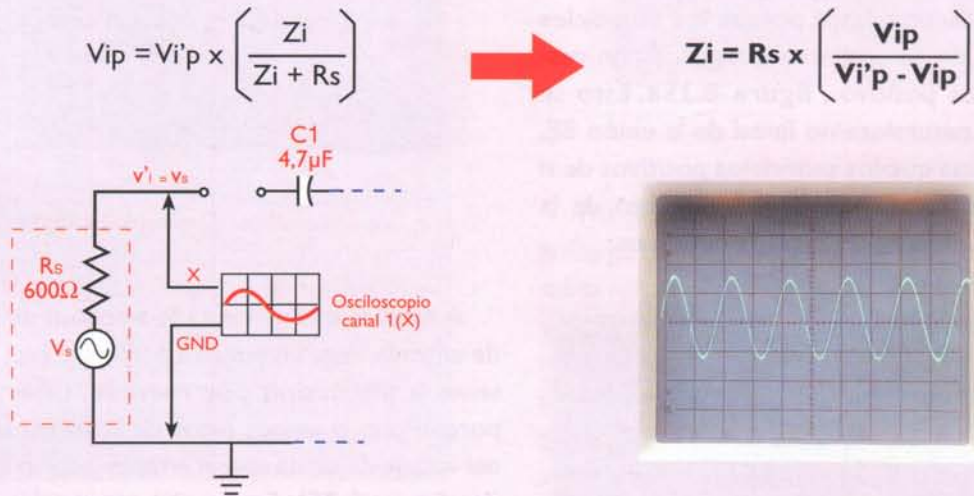


Figura 8.34. Midiendo el voltaje de la fuente de señal de entrada sin carga (v_i' o v_s) como paso previo para el cálculo de la impedancia de entrada (Z_i) del amplificador.

En nuestro caso, $V_{i'p} = 7\text{mV}$, $V_{ip} = 5\text{mV}$ y $R_s = 600\Omega$ (nominal del generador). Por tanto:

$$Z_i = 600\Omega \times \left(\frac{5\text{mV}}{7\text{mV} - 5\text{mV}} \right) = 1.500\Omega = 1,5\text{k}\Omega$$

Esta última ($1,5\text{k}\Omega$) es la impedancia de entrada (Z_i), medida, de nuestro amplificador.

1. Siguiendo el método de análisis en condiciones de señal explicado en la lección, calcule teóricamente el valor esperado de la impedancia de entrada (Z_i) para este circuito. Compárelo con el obtenido en la práctica. Asuma que $r'_e = 30\text{mV}/I_e = 20,55\Omega$, como se explicó anteriormente. En nuestro caso obtuvimos:

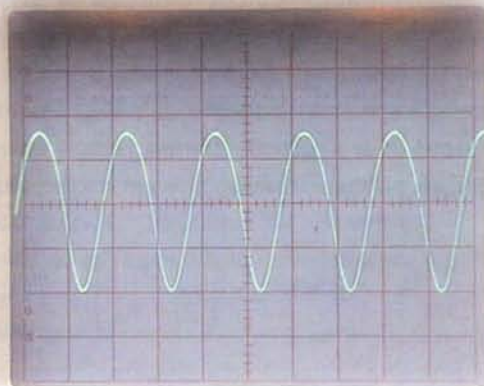
$$Z_i = r'_b \parallel R_B$$

$$r'_b = \beta r'_e = 193 \times 20,55\Omega = 3.966\Omega = 4\text{k}\Omega$$

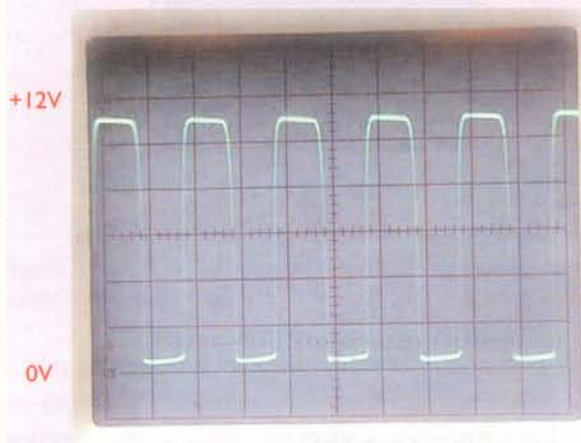
$$R_B = R_1 \parallel R_2 = \left(\frac{2,2\text{K} \times 10\text{K}}{2,2\text{K} + 10\text{K}} \right) = 1,8\text{k}\Omega$$

$$Z_i = \left(\frac{4\text{K} \times 1,8\text{K}}{4\text{K} + 1,8\text{K}} \right) = 1,24\text{k}\Omega$$

2. Distorsión. Aumente lentamente la amplitud de la señal de entrada (v_i) hasta que la señal de salida (v_o) comience a mostrar signos visibles de distorsión. En nuestro caso, este fenómeno comienza aproximadamente cuando la amplitud de la señal de entrada es superior a **10mVp**. Continúe aumentando v_i . El primer síntoma que observará es la **distorsión armónica**, caracterizada porque los semiciclos negativos de v_o aparecen alargados con respecto a los positivos, **figura 8.35a**. Esto se debe a la naturaleza no lineal de la unión BE, lo cual causa que los semiciclos positivos de v_i produzcan un mayor ΔI_E (incremento de la corriente de emisor) que los negativos.



a. Distorsión armónica ($v_i=20\text{mVp}$)

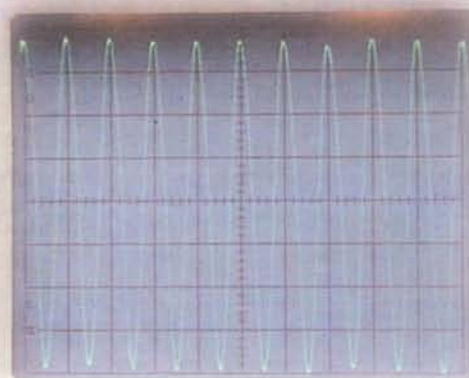


b. Distorsión por recorte ($v_i=100\text{mVp}$)

A medida que aumenta la amplitud de la señal de entrada, llega un punto a partir del cual se presenta la **distorsión por recorte**, caracterizada porque uno o ambos picos de la forma de onda del voltaje de salida aparecen aplanados o recortados, **figura 8.35b**. Esto se debe a que el voltaje de entrada (v_i) provoca el desplazamiento del punto de trabajo instantáneo de la salida (I_c, V_{ce}) hasta más allá de los puntos de corte y saturación. Como resultado, el voltaje neto de salida (V_o) no puede aumentar ni disminuir más allá de V_{CC} (12V) o GND (0V), que son los límites impuestos por la fuente de alimentación.

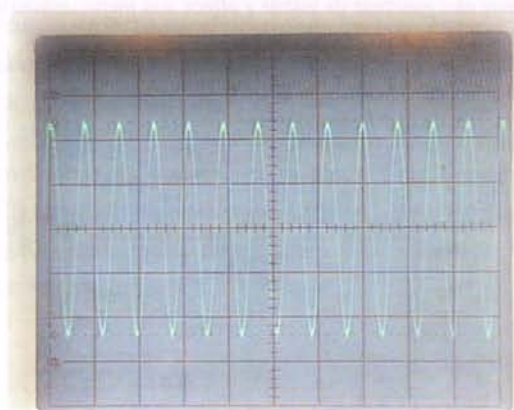
Figura 8.35. Observando la distorsión debida a una señal de entrada excesiva

3. Respuesta de frecuencia. Una vez comprobado el fenómeno de la distorsión, manipule nuevamente los controles de frecuencia y voltaje de la fuente de señal de entrada (v_i), hasta obtener como señal de salida una onda seno pura de 1kHz y 400mVp sobre la resistencia de carga (R_L), **figura 8.36a**. Esta señal representa la ganancia nominal del amplificador (A_{vnom}) en la parte plana de la curva de respuesta de frecuencia. En nuestro caso, **$A_{vnom}=136$ (42,7 dB)**.

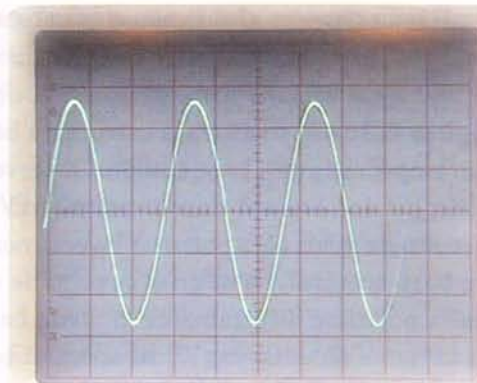


a. Ganancia de voltaje nominal ($A_v=136, f=1\text{kHz}$)

A continuación, disminuya lentamente la frecuencia de la fuente de señal hasta que la amplitud del voltaje de salida (v_o), en bajas frecuencias, descienda hasta el 70,7% de 400mVpp, es decir 283mVp, **figura 8.36b**. Este punto representa la frecuencia de corte inferior (f_L) del amplificador. En nuestro caso, obtuvimos **$f_L=186\text{Hz}$** . A esta frecuencia, la ganancia de voltaje se reduce a 39,7dB, es decir 3dB por debajo de su valor nominal (42,7dB o 96 veces).



c. Ganancia de voltaje en altas frecuencias
($A_v=102$, $f=270\text{kHz}$)



b. Ganancia de voltaje en el punto inferior de -3dB
($A_v=96$, $f=186\text{Hz}$)

Figura 8.36. Midiendo la ganancia en frecuencias medias, bajas y altas

Por último, aumente lentamente la frecuencia de la fuente de señal hasta que la amplitud del voltaje de salida (v_o), en altas frecuencias, descienda nuevamente al 70,7% de 400mVpp, es decir 283mV. Este punto representa la frecuencia de corte superior (f_H) del amplificador. A esta frecuencia, la ganancia de voltaje se reduce a 39,7dB, es decir 3dB por debajo de su valor nominal (42,7dB). En nuestro caso, no fue posible medir esta frecuencia debido que la misma es superior a la máxima proporcionada por el generador utilizado (270 kHz). A esta frecuencia, la ganancia obtenida fue de 102 veces (40,17dB). Por tanto, f_H debe estar alrededor de los 300kHz o 350kHz.

4. Aplicación práctica. Para finalizar, desconecte el generador de audio (V_s) y la resistencia de carga (R_L), y sustitúyalos, respectivamente, por un micrófono *electret* (MIC1) y un amplificador de potencia de 2W (kit **CEKIT EF-17**), como se muestra en la **figura 8.37**. En este caso, el micrófono actúa como fuente de señal y el amplificador de potencia como carga. La etapa EC (emisor común) actúa como preamplificador. Para evitar que se produzcan fenómenos de realimentación (*feedback*) de sonido, mantenga alejado el parlante del micrófono.

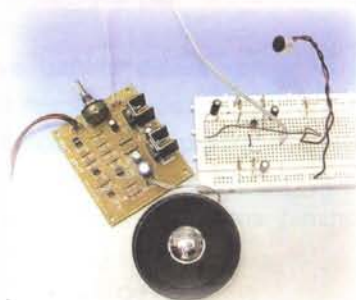
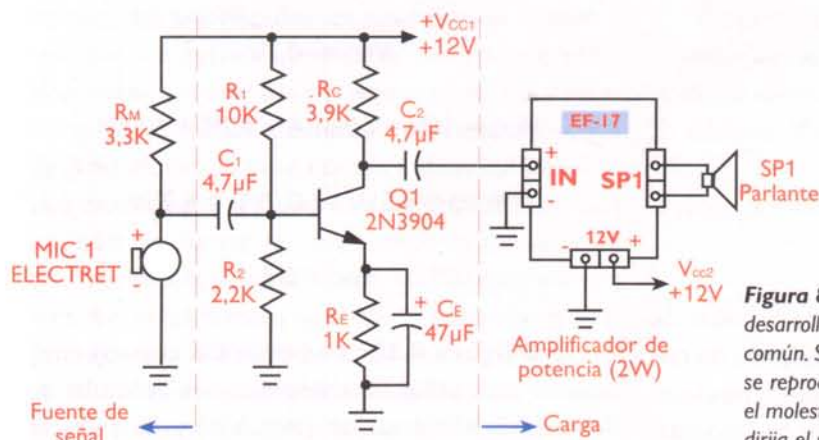


Figura 8.37. Preamplificador para micrófono electret desarrollado alrededor de una etapa en emisor común. Simplemente hable ante el micrófono y su voz se reproducirá amplificada en el parlante. Para evitar el molesto *feedback* (un sonido agudo intenso), no dirija el micrófono hacia el parlante.

Amplificadores de baja señal en base común

En la figura 8.38a se muestra la estructura básica de un amplificador en base común. Observe la utilización de dos fuentes de alimentación: V_{CC} en el circuito de salida para polarizar inversamente la unión base-colector y V_{EE} en el circuito de entrada para polarizar directamente la unión base-emisor. La señal de entrada (V_i) se aplica al emisor, procedente de la fuente de señal (V_s), mientras que la señal de salida (V_o) se recibe sobre la carga (R_L), procedente del colector (V_c). La base actúa como tierra, masa o terminal común de referencia para ambos circuitos. R_E y R_C fijan el punto de trabajo (Q), mientras que C_1 y C_2 actúan como condensadores de acople de entrada y salida, respectivamente. No se utilizan resistencias de polarización de base.

En la figura 8.38b se muestra el circuito equivalente para CC, obtenido después de anular la fuente de señal (V_s) y sustituir los condensadores (C_1, C_2) por circuitos abiertos. El análisis de este circuito permite deducir las siguientes relaciones, útiles para calcular las corrientes y voltajes del mismo en condiciones de reposo (Q):

$$I_{EQ} = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

$$I_{CQ} = I_{EQ}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{h_{FE}}$$

$$V_{EQ} = -V_{BE}$$

$$V_{CQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C$$

$$V_{CEQ} = V_{CQ} - V_{EQ}$$

$$V_{BQ} = 0$$

Note que el punto de trabajo de la señal de salida (I_{CQ}, V_{CQ}) no depende de la ganancia de corriente (β o h_{FE}) del transistor, lo cual hace que este circuito sea muy estable. En nuestro caso, asu-

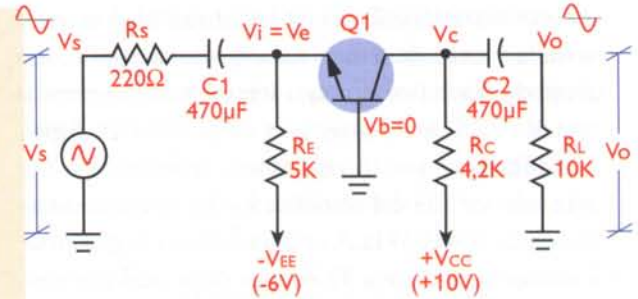


Figura 8.38a. Amplificador en base común. Circuito general. Esta configuración no produce inversión de fase, tiene una muy alta ganancia de voltaje y ofrece una mejor respuesta de frecuencia que un amplificador en emisor común. Sin embargo, presenta una muy baja impedancia de entrada y no ofrece ganancia de corriente. Se utiliza principalmente en aplicaciones de alta frecuencia

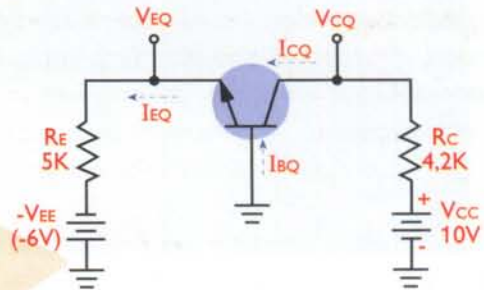


Figura 8.38b. Circuito equivalente para CC del amplificador en base común

miendo que $h_{FE}=100$ y $V_{BE}=0,7V$, obtendríamos los siguientes valores en condiciones de reposo:

$$I_{EQ} = \frac{6V - 0,7V}{5K} = 1,06 \text{ mA}$$

$$I_{CQ} = 1,06 \text{ mA}$$

$$I_{BQ} = \frac{1,06 \text{ mA}}{100} = 10,6 \mu\text{A}$$

$$V_{EQ} = -0,7V$$

$$V_{CQ} = 10V - 1,06 \text{ mA} \times 4,2K = 5,55V$$

$$V_{CEQ} = 5,55V - (-0,7V) = 6,25V$$

$$V_{BQ} = 0V$$

En la figura 8.38c se muestra el circuito equivalente para señal, obtenido después de anular las fuentes de alimentación (V_{CC}, V_{EE}) y de sustituir

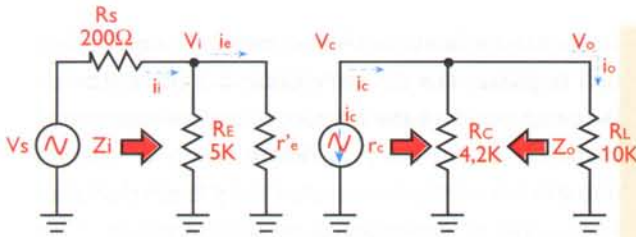


Figura 8.38c. Circuito equivalente para señal del amplificador en base común

los condensadores (C1, C2) por cortocircuitos. El análisis de este modelo revela las siguientes características dinámicas importantes de un amplificador en base común:

Impedancia de entrada baja. Esta impedancia (Z_i) es igual a la resistencia equivalente en paralelo de R_E (resistencia de emisor) y r'_e (resistencia dinámica de emisor). Esto es:

$$Z_i = R_E || r'_e = \frac{R_E \times r'_e}{R_E + r'_e}$$

En nuestro caso, asumiendo,

$$r'_e = \frac{30\text{mV}}{I_E} = \frac{30\text{mV}}{1,06\text{mA}} = 28,3\Omega$$

obtendríamos:

$$Z_i = \frac{5\text{k}\Omega \times 28,3\Omega}{5\text{k}\Omega + 28,3\Omega} = 28,14\Omega$$

Por tanto, la impedancia de entrada es muy baja, prácticamente igual a r'_e . Ésta es la principal desventaja del amplificador en base común debido a que reduce sustancialmente la cantidad de señal disponible a la entrada y puede provocar la sobrecarga de la fuente de señal. Por esta razón, los amplificadores en base común deben ser impulsados desde transformadores y otras fuentes de baja impedancia. Su uso es muy común en circuitos de alta frecuencia, por encima de 10 MHz, donde son frecuentes las fuentes de señal de baja impedancia, por ejemplo 50Ω. De este modo, la mayor parte de la señal se transfiere al amplificador y no se pierde en la resistencia interna de la fuente.

Impedancia de salida moderada. Esta impedancia (Z_o) es prácticamente igual al valor de la resistencia de colector (R_C). Esto es:

$$Z_o = R_C$$

En nuestro caso,

$$Z_o = 4,2\text{k}\Omega$$

Esta impedancia puede ser fácilmente reducida a cualquier valor deseado seleccionando adecuadamente la resistencia de colector (R_C). Sin embargo, esta reducción puede desplazar el punto de trabajo (Q) hasta los límites de la saturación, afectando la ganancia de voltaje (A_v), causando una demanda de corriente excesiva por parte de la fuente de alimentación (V_{CC}) y provocando fenómenos de distorsión.

Produce amplificación de voltaje. La ganancia de voltaje (A_v) es alta y está dada por la relación entre la resistencia equivalente de colector ($r_c = R_C || R_L$) y la impedancia de entrada ($Z_i = R_E || r'_e$). Esto es:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{r_c}{Z_i} = \frac{R_C || R_L}{R_E || r'_e}$$

En nuestro caso, $r_c = 4,2\text{k}\Omega || 10\text{k}\Omega = 2,96\text{k}\Omega$ y $Z_i = 28,14\Omega$. Por tanto:

$$A_v = \frac{2,96\text{k}\Omega}{28,14\Omega} = 105 \text{ (40,4dB)}$$

Observe que la ganancia de voltaje varía dependiendo de la resistencia de la carga (R_L), siendo máxima en condiciones de circuito abierto ($R_L = \infty$) y mínima (0) en condiciones de cortocircuito ($R_L = 0$). En nuestro caso, la máxima ganancia de voltaje posible ($A_{v\text{max}}$) sería:

$$A_{v\text{max}} = \frac{R_C}{Z_i} = \frac{4,2\text{k}\Omega}{28,14\Omega} = 149 \text{ (43,5 dB)}$$

Esta ganancia puede ser incrementada aumentando el valor de R_C , pero esto implicaría el aumen-

to de la impedancia de salida (Z_o) del amplificador y el desplazamiento del punto de trabajo (Q) hacia los límites del corte. Note también que, debido a la presencia de la resistencia R_s , la ganancia de voltaje real, desde el punto de vista de la fuente de señal (V_s), que llamaremos $A'v$, está dada por:

$$A'v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{A_v}{\left(1 + \frac{R_s}{Z_i}\right)}$$

siendo R_s la resistencia de la fuente de señal, Z_i la impedancia de entrada del amplificador y A_v la ganancia de voltaje propiamente dicha de la etapa. En nuestro caso:

$$A'v = \frac{105}{\left(1 + \frac{200\Omega}{28,14\Omega}\right)} = 13 \text{ (22,2 dB)}$$

Por tanto, una señal de 1 mVpp entregada por la fuente (V_s) produce una señal de entrada (v_i) de 123,3 μ Vpp y una señal de salida (v_o) de 13 mVpp. Así, desde el punto de vista de v_i , la ganancia de voltaje es $13\text{mV}/123,3\mu\text{V}=105$, mientras que desde el punto de vista de v_s la ganancia de voltaje es $13\text{mV}/1\text{mV}=13$.

No produce amplificación de corriente. La ganancia de corriente (A_i) es inferior a la unidad y se puede evaluar a partir de la siguiente relación:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = A_v \times \left(\frac{Z_i}{R_L}\right)$$

En nuestro caso, $A_v=105$, $Z_i=28,14\Omega$ y $R_L=10\text{K}\Omega$. Por tanto:

$$A_i = 105 \times \left(\frac{28,14\Omega}{10\text{k}\Omega}\right) = 0,29 \text{ (-10,6dB)}$$

Este resultado implica que la fuente de señal debe ser capaz de suministrar una corriente de señal superior a la demandada por la resistencia de carga (R_L). Esta es otra desventaja importante del amplificador en base común. La ganancia de

corriente de la etapa (A_i) no debe ser confundida con la **ganancia de corriente** del transistor en la configuración base común, la cual se representa como α (alfa) ó h_{fb} y se define como la relación entre la corriente de colector (i_c) y la corriente de emisor (i_e) en condiciones de señal. Esto es:

$$\alpha = h_{fb} = \frac{i_c}{i_e} = \frac{\beta}{\beta+1}$$

siendo $\beta=i_c/i_b$ la ganancia de corriente en la configuración emisor común. En general, α es siempre inferior a la unidad, lo cual implica que la corriente de colector (i_c) es siempre menor que la corriente de emisor (i_e). Sin embargo, para efectos prácticos, generalmente se considera $\alpha=1$. Ésta sería la máxima ganancia de corriente teóricamente posible para una etapa en base común, asumiendo una resistencia de colector infinita.

Ancho de banda extenso. La respuesta de frecuencia se extiende desde 0 Hz hasta varios MHz, y está limitada principalmente por las capacidades parásitas del circuito, así como por las características intrínsecas del transistor. La máxima frecuencia que puede amplificar un transistor en la configuración base común se especifica en términos de la **frecuencia de corte alfa** (f_α), definida como la frecuencia a la cual la ganancia de corriente a disminuye al 70,7% de su valor nominal. En algunos casos, en lugar de f_α se especifica la **frecuencia de corte beta** (f_β), que proporciona la misma información pero para la configuración emisor común. Estos dos parámetros están relacionados así:

$$f_\alpha = \beta f_\beta$$

Por ejemplo, si $f_\beta = 1\text{MHz}$ y $\beta = 100$, entonces $f_\alpha = 100\text{MHz}$. Tenga en cuenta que ésta es la frecuencia máxima útil de operación del transistor y no la frecuencia máxima de operación del circuito, la cual es, en la práctica, muy inferior a este valor; digamos 15 MHz. De todas formas, la respuesta de frecuencia de un amplificador en base común es muy superior a la de un amplificador en emisor común. Por esta razón, es una configuración favorita para amplificadores de alta frecuencia.

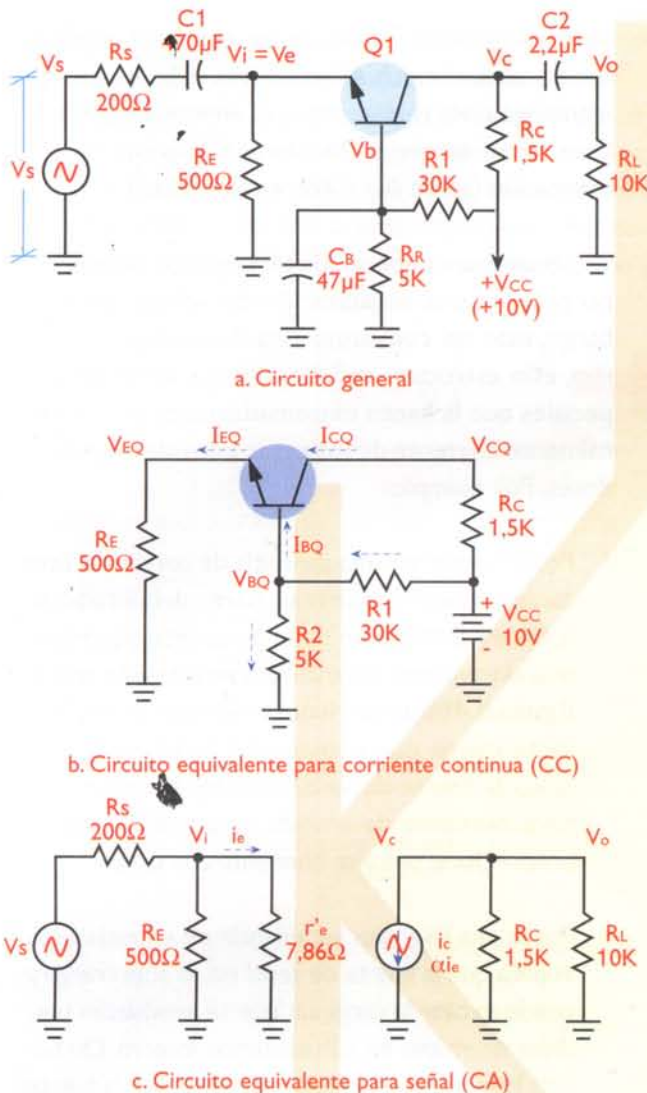


Figura 8.39. Amplificador en base común con polarización por divisor de tensión

Aunque normalmente se utilizan dos fuentes de alimentación (V_{CC} y V_{EE}) para polarizar un amplificador en base común, es posible conseguir el mismo efecto con una sola fuente utilizando un esquema de polarización por divisor de tensión, como se ilustra en la figura 8.39a. Los circuitos equivalentes para CC y para señal correspondientes se muestran en las figuras 8.39b y 8.39c, respectivamente. Observe que la estructura de este último es idéntica a la del circuito de la figura 8.39b, mientras que la del primero corresponde a la de un esquema de polarización universal o por divisor de tensión típico.

El condensador C_B actúa como un cortocircuito para la señal, conectando dinámicamente la base a tierra. Sin embargo, desde el punto de vista de la polarización se comporta como un circuito abierto. Su valor se escoge de modo que, para la frecuencia más baja de la señal de entrada (V_s), ofrezca una reactancia (X_C), como máximo, igual a $R_2/10$, es decir, la décima parte del valor de R_2 . Se deja como ejercicio para el lector demostrar, a partir del análisis de estos circuitos, los siguientes resultados generales (asuma $h_{FE} = h_{fe} = 100$, $V_{BE} = 0,7V$ y $r'_e = 25mV/I_E$):

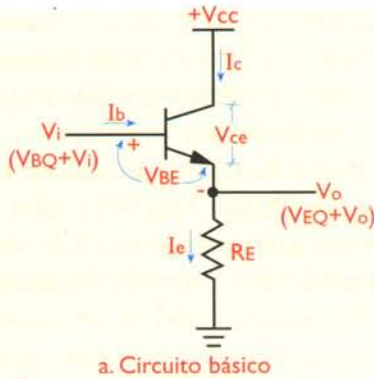
• Condiciones de polarización

$$\begin{aligned} V_{BQ} &= 2,29V \\ V_{EQ} &= 1,59V \\ V_{CQ} &= 11,23V \\ I_{CQ} &= 3,18 \text{ mA} \\ I_{EQ} &= 3,18 \text{ mA} \\ I_{BQ} &= 31,8 \mu A \\ I_{R1} &= I_{R2} = 0,46 \text{ mA} \end{aligned}$$

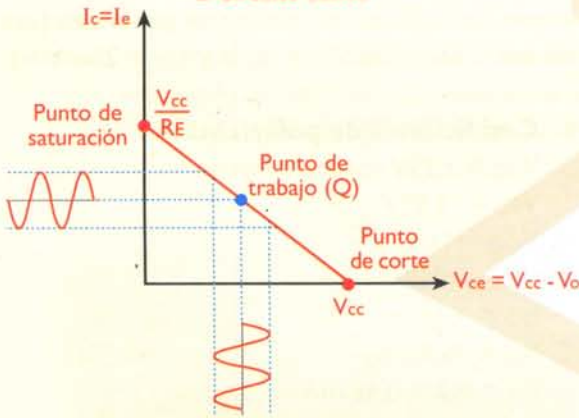
- Impedancia de entrada (Z_i): $7,74\Omega$
- Impedancia de salida (Z_o): $1,5k\Omega$
- Ganancia de voltaje con carga (A_v): $168,5$ (44,5 dB)
- Ganancia de voltaje sin carga (A_{vmax}): $193,8$ (45,75 dB)
- Ganancia de corriente (A_i): $0,13$ (-17,7dB)

Amplificadores de baja señal en colector común. Seguidores de emisor

Una de las principales desventajas del amplificador en base común es su baja impedancia de entrada. Esta baja impedancia causa que la mayor parte del voltaje entregado por la fuente de señal se pierda en la resistencia interna de esta última y solamente una pequeña fracción quede aplicada a la entrada del amplificador. Además, puede causar la sobrecarga de la fuente de señal, obligándola a entregar más corriente de la que físicamente puede dar. Estos problemas suceden siempre que se acopla una fuente de alta impedancia a una carga de baja impedancia. Una forma de solucionarlos es acoplando la fuente de señal a la carga mediante un **amplificador en colector común** (CC), mejor conocido como un **seguidor de emisor**.



a. Circuito básico



b. Comportamiento con señal pequeña

Figura 8.40. Operación básica de un amplificador en colector común o seguidor de emisor

En la figura 8.40a se ilustra la idea básica de un seguidor de emisor. En este caso, la señal de entrada (V_i) se aplica en la base, mientras que la señal de salida (V_o) se obtiene del emisor. Debido a esta disposición, el voltaje de salida es prácticamente igual al de entrada, excepto por la pequeña caída de tensión en la unión base-emisor. Esto es:

$$V_o = V_i - V_{BE}$$

Siendo $V_o = V_b$ el voltaje aplicado a la base y $V_e = V_o$ el voltaje resultante en el emisor. Por ejemplo, si $V_i = 5V$ en condiciones de reposo, entonces, bajo la misma condición, $V_o = 4,3V$ (asumiendo $V_{BE} = 0,7V$). Si ahora, por efecto de la señal de entrada, V_i experimenta un cambio de $250mV$, es decir sube hasta $5,25V$ o baja hasta $4,75V$, entonces V_o experimenta también un cambio de $250mV$ en la misma dirección, o sea, sube hasta $4,55V$ o baja hasta $4,05V$. En otras palabras, el voltaje de emisor ($V_e = V_o$) imita o sigue las variaciones del voltaje

de base ($V_b = V_i$), de donde se deriva el nombre dado a este circuito. Así, mientras el transistor se mantenga en la región activa, el emisor seguirá a la base sobre el rango completo del voltaje de alimentación (entre 0 y $+V_{cc}$, en este caso).

Lo anterior implica que un seguidor de emisor no proporciona amplificación de voltaje. Sin embargo, esto no constituye una desventaja. De hecho, esta estructura exhibe muchos atributos especiales que la hacen extremadamente útil y radicalmente diferente de los otros tipos de amplificadores. Por ejemplo:

- Proporciona una alta ganancia de corriente. Esta característica es evidente a partir del circuito de la figura 8.40a si se tiene en cuenta que, mientras el transistor permanezca en la región activa, figura 8.40b, la corriente de emisor (I_e) es $\beta + 1$ veces mayor que la corriente de base (I_b). Por tanto, la fuente de señal necesita entregar muy poca corriente de entrada para que el circuito proporcione una alta corriente a la carga.
- Posee una muy alta impedancia de entrada. Esto implica que la fuente de señal no se sobrecarga y puede excitar la carga sin que se produzcan pérdidas de voltaje en su resistencia interna. De hecho, la impedancia de entrada vista por la fuente es prácticamente β veces mayor que el valor de la resistencia de emisor. De este modo, si, por ejemplo, $\beta = 100$ y $R_E = 10k\Omega$, entonces la impedancia de entrada es del orden de $100 \times 10k\Omega = 1M\Omega$.
- No produce inversión de fase, como sí sucede en un amplificador en emisor común. Esto significa que los cambios en el voltaje de entrada (v_i) se reflejan exactamente en el voltaje de salida (v_o): si v_i aumenta, v_o también aumenta en la misma cantidad, de la misma forma y en el mismo tiempo.
- Tiene una respuesta de frecuencia amplia, similar a la de un amplificador en emisor común, pero inferior a la de un amplificador en base común.

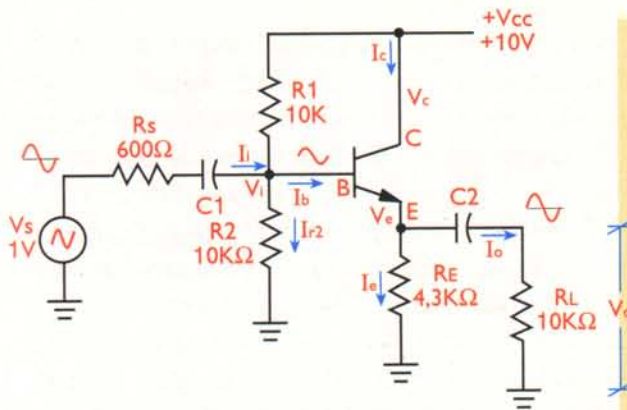


Figura 8.41a. Amplificador práctico en colector común (seguidor de emisor). Esta configuración no produce inversión de fase, posee una muy alta impedancia de entrada, ofrece una alta ganancia de corriente y tiene una respuesta de frecuencia similar a la de un amplificador en emisor común. Sin embargo, no ofrece ganancia de voltaje. Se utiliza principalmente como buffer o adaptador de impedancias

En la **figura 8.41a** se muestra el esquema de un amplificador práctico en colector común, polarizado mediante un divisor de tensión en la base. El acoplamiento de la señal de la fuente (v_s) a la base (entrada, v_i) se efectúa a través de C_1 , mientras que el acoplamiento de la señal del emisor (salida, v_e) a la carga (v_o) se efectúa a través de C_2 . R_s representa la resistencia interna de la fuente de señal. Las demás resistencias (R_1 , R_2 , R_e), como veremos a continuación, establecen el punto de trabajo, y, junto con las características intrínsecas del transistor, determinan las impedancias de entrada y de salida del amplificador, así como sus ganancias de corriente y de voltaje, y su respuesta de frecuencia. Observe que no se requiere resistencia de colector y que este último está conectado directamente a la fuente de alimentación (V_{cc}).

En la **figura 8.41b** se muestra el circuito equivalente para CC, obtenido después de anular la fuente de señal (V_s) y sustituir los condensadores (C_1 , C_2) por circuitos abiertos. El análisis de este circuito permite deducir las siguientes relaciones, útiles para calcular las corrientes y voltajes de polarización del mismo en condiciones de reposo (Q), es decir sin señal de entrada:

$$V_{BQ} = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{EQ} = V_{BQ} - V_{BE}$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{EQ}}{R_E}$$

$$I_{CQ} = I_{EQ}$$

$$V_{CQ} = V_{CC}$$

$$V_{CE} = V_{CQ} - V_{EQ}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{h_{FE}}$$

Nuevamente, note que el punto de trabajo de la señal de salida (I_{EQ} , V_{EQ}) no depende de la ganancia de corriente (β o h_{FE}) del transistor, lo cual hace que este circuito sea muy estable. En nuestro caso, asumiendo que $h_{FE} = 100$ y $V_{BE} = 0,7V$, obtendríamos los siguientes valores en condiciones de reposo:

$$V_{BQ} = 10V \times \frac{10K}{10K + 10K} = 5V$$

$$V_{EQ} = 5V - 0,7V = 4,3V$$

$$I_{EQ} = \frac{4,3V}{4,3K} = 1mA$$

$$I_{CQ} = 1mA$$

$$V_{CQ} = 10V$$

$$V_{CE} = 10V - 4,3V = 5,7V$$

$$I_{BQ} = \frac{1mA}{100} = 10\mu A$$

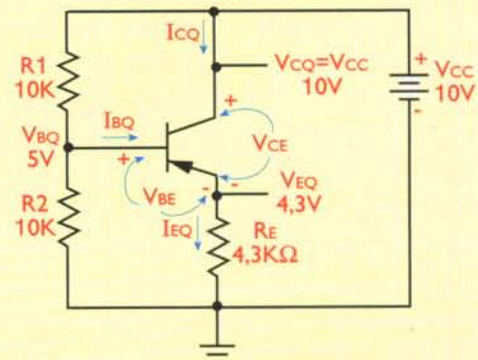


Figura 8.41b Circuito equivalente para CC del amplificador en colector común (seguidor de emisor)

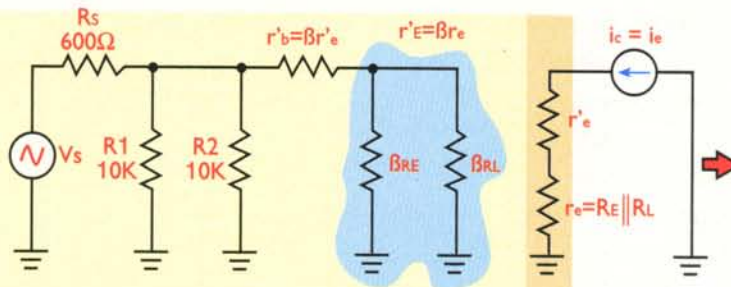


Figura 8.41 c Circuito equivalente para señal (CA)

En la figura 8.41 c se muestra el circuito equivalente para señal, obtenido después de anular las fuentes de alimentación (V_{CC} , V_{EE}) y de sustituir los condensadores ($C1$, $C2$) por cortocircuitos. A partir de este modelo podemos evaluar fácilmente las impedancias de entrada y de salida del circuito, así como las ganancias de voltaje, corriente y potencia. La respuesta de frecuencia es la misma de un amplificador en emisor común. Por esta razón no la consideraremos en nuestro análisis.

La **impedancia de entrada** (Z_i), vista por la fuente de señal (V_s , R_s), se puede evaluar a partir de siguiente fórmula:

$$Z_i = R_1 \parallel R_2 \parallel (r'_b + r'_e)$$

siendo R_1 y R_2 las resistencias de polarización de la base, r'_b la resistencia dinámica de la unión base-emisor vista desde la base y r'_e la resistencia equivalente de emisor vista desde la base. Recuerde que cualquier resistencia o impedancia conectada al emisor se observa en la base reflejada β veces más grande. En nuestro caso, r'_b es igual a β veces r'_e y r'_e es igual a β veces el equivalente en paralelo de R_E (resistencia de emisor) y R_L (resistencia de carga). Por tanto, asumiendo para nuestro transistor $\beta = h_{fe} = 100$, $r'_e = 25\text{mV}/I_E$ y $V_{BE} = 0,7\text{V}$, tenemos:

$$r_e = R_E \parallel R_L = 4,3\text{K} \parallel 10\text{K} = 3\text{K}$$

$$r'_e = \beta r_e = 100 \times 3\text{K} = 300\text{K}$$

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_E} = \frac{25\text{mV}}{1\text{mA}} = 25\Omega$$

$$r'_b = \beta r'_e = 100 \times 25\Omega = 2,5\text{k}\Omega$$

$$r'_b + r'_e = 2,5\text{k}\Omega + 300\text{k}\Omega = 302,5\text{k}\Omega$$

De este modo:

$$Z_i = R_1 \parallel R_2 \parallel (r'_b + r'_e) = 10\text{k}\Omega \parallel 10\text{k}\Omega \parallel 302,5\text{k}\Omega$$

$$Z_i = 4,92\text{ k}\Omega$$

Por tanto, la impedancia de entrada de un seguidor de emisor es relativamente alta y depende principalmente de los valores de las resistencias de polarización de la base, ya que r'_e es generalmente muy grande comparada con r'_b y $R_1 \parallel R_2$. Para efectos prácticos, puede considerarse $Z_i = R_1 \parallel R_2$. Los valores específicos de R_1 y R_2 , y por tanto de Z_i , dependen de los requisitos de carga de la fuente de señal. Si esta última tiene, por ejemplo, una impedancia de 600Ω , R_1 y R_2 pueden ser ambas de $1,2\text{k}\Omega$ para configurar una Z_i de 600Ω y permitir así una máxima transferencia de potencia.

La alta impedancia de entrada es una de las principales ventajas de esta configuración, lo que la hace muy útil para transferir señales débiles, con muy baja capacidad de corriente, de una etapa a otra de un circuito. Esta característica es muy empleada, por ejemplo, en preamplificadores que operan desde fuentes de alta impedancia, tales como ciertos tipos de micrófonos y sensores. En la figura 8.42 se muestra un ejemplo de aplicación típico.

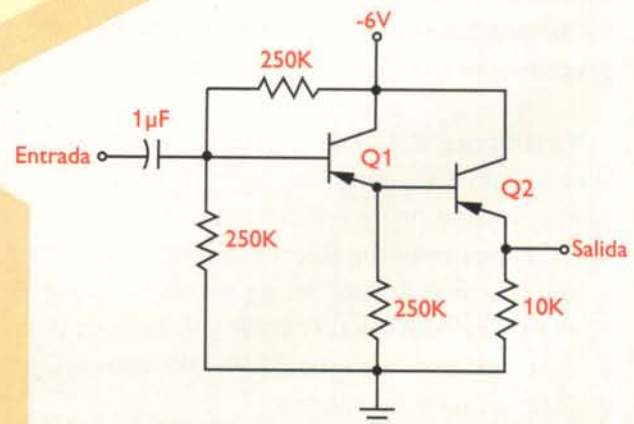


Figura 8.42. Seguidores de emisor en cascada formando un preamplificador con una muy alta impedancia de entrada y una muy baja impedancia de salida. Esta configuración se conoce comúnmente como un seguidor de emisor escalonado

En este caso, el seguidor de entrada (Q1) recibe la señal de la fuente, ofreciéndole una muy alta impedancia de entrada. Por tanto, casi no se pierde señal en la resistencia interna de la fuente y prácticamente toda la señal disponible aparece en la base. Hecho esto, la señal se transfiere al emisor de Q1 y desde este último a un segundo seguidor (Q2), el cual la entrega reforzada a la carga o circuito de utilización con una muy baja impedancia de salida. No hay ganancia de voltaje, pero la amplificación de corriente es considerable.

Retornando al circuito equivalente de la **figura 8.41**, la **impedancia de salida** (Z_o), vista por la carga (R_L), se puede evaluar a partir de la siguiente fórmula:

$$Z_o = R_E \parallel \left[r'_e + \frac{R_s \parallel R_1 \parallel R_2}{\beta} \right]$$

siendo R_E la resistencia de emisor, r'_e la resistencia dinámica de la unión base-emisor, R_s la resistencia interna de la fuente de señal, R_1 y R_2 las resistencias de polarización de la base y β la ganancia dinámica de corriente. En nuestro caso, $R_E = 4,3k\Omega$, $r'_e = 25\Omega$, $R_s = 600\Omega$, $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$ y $\beta = 100$. De este modo:

$$\frac{R_s \parallel R_1 \parallel R_2}{\beta} = \frac{600\Omega \parallel 10k\Omega \parallel 10k\Omega}{100} = 5,36\Omega$$

$$r'_e + \frac{R_s \parallel R_1 \parallel R_2}{\beta} = 25\Omega + 5,36\Omega = 30,36\Omega$$

$$Z_o = 4,3k\Omega \parallel 30,36\Omega = 30,15\Omega$$

Por tanto, la impedancia de salida de un seguidor de emisor es muy baja, lo cual constituye otra de sus grandes ventajas. Esta característica lo hace muy útil como **adaptador de impedancias**, es decir, para transferir una señal o un nivel de voltaje desde una fuente de alta impedancia hasta una carga de baja impedancia. En este sentido se comporta en forma parecida a un transformador, excepto que este último no produce ganancia de potencia, como sí lo hace un seguidor. Un ejemplo típico de

aplicación de este concepto es un regulador de tensión, como el mostrado en la **figura 8.43**, el cual combina un regulador Zener con un seguidor de emisor.

En este caso, el voltaje de entrada, aplicado a la base, es la tensión nominal del diodo Zener (V_z). Por tanto, la tensión de salida (V_o) es igual a V_z menos la caída en la unión base-emisor (V_{BE}). Esto es:

$$V_o = V_z - V_{BE}$$

Independientemente de los cambios en la tensión de la fuente (V_{CC}), la tensión Zener (V_z) del diodo mantiene constante el voltaje de base. Puesto que V_{BE} es también constante, la tensión de salida (V_o) no cambia. Por tanto, la regulación de voltaje es automática. Con respecto a un regulador Zener convencional, esta configuración ofrece dos ventajas importantes. En primer lugar, debido a que la corriente de base (I_b) es muy pequeña, el diodo Zener no está obligado a entregar una corriente (I_z) muy alta para alimentar la carga, ya que la corriente de esta última ($I_L = I_e$) es proporcionada por el emisor. Por tanto, se puede utilizar un diodo Zener de baja potencia para controlar corrientes grandes.

Como ejemplo, suponga que en el circuito anterior se utiliza un diodo Zener con un voltaje nominal (V_z) de 10V. Esto implica que el voltaje de

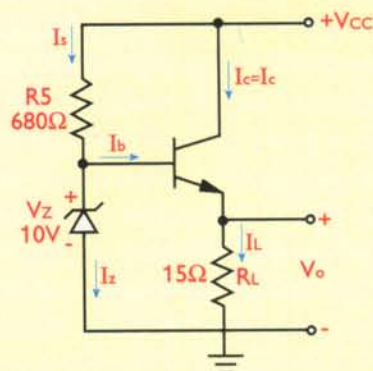


Figura 8.43. Regulador de voltaje Zener mejorado. El transistor aumenta la capacidad de manejo de corriente del Zener por un factor de β y reduce su resistencia interna casi por el mismo factor. Como resultado, el voltaje de salida permanece prácticamente constante para una gama muy amplia de valores de la resistencia de carga (R_L)

salida (V_o) es de 9,3V ($=10V-0,7V$), lo cual equivale a una corriente de carga (I_L) del orden de 620mA. Si se utilizara solamente el diodo Zener, el mismo debería tener una potencia nominal superior a 6W para poder manejar esta corriente. Sin embargo, con la adición del seguidor, la situación cambia radicalmente. Ahora, la corriente Zener (I_z) es apenas una fracción de la corriente de base (I_b). Bajo esta condición, asumiendo $\beta=100$, tendríamos:

$$I_b = \frac{I_L}{\beta} = \frac{620\text{mA}}{100} = 6,2\text{mA}$$

$$I_s = \frac{V_{CC}-V_z}{R_s} = \frac{20V-10V}{680\Omega} = 14,7\text{mA}$$

$$I_z = I_s - I_b = 14,7\text{mA} - 6,2\text{mA} = 8,5\text{mA}$$

Por tanto, en el peor de los casos, con la base desconectada, el diodo Zener tendría que manejar, como máximo, una corriente de 14,7mA ($I_{z\text{max}}=I_s$), lo cual equivale a una potencia nominal (P_z) de 0,147W. Por tanto, puede utilizarse, con toda confianza, un diodo Zener de 10V, 1/4W, en lugar de uno de 6W o más, que es más costoso, voluminoso y escaso. Si se desea tener la opción de variar el voltaje de salida, puede utilizarse un potenciómetro en paralelo con el Zener para controlar el nivel de tensión aplicado a la base.

Además de la sustantiva reducción en la capacidad de potencia requerida para el diodo Zener, la otra ventaja del circuito es la baja impedancia de salida (Z_o), la cual es prácticamente β veces inferior a la resistencia interna nominal del Zener (R_z). Esta última puede ser de varios ohmios y afectar las características de regulación del diodo Zener cuando se alimentan cargas de bajo impedancia. Con un seguidor se evita que esto suceda, ya que, por ejemplo, una R_z de 50 Ω sería vista por la carga como una resistencia interna de fuente de 0,5 Ω , que es muy baja y adecuada para un regulador de voltaje. Como resultado, las variaciones en la corriente de carga (I_L) afectan muy poco el valor de la tensión de salida.

Finalmente, las ganancias de voltaje (A_v), corriente (A_i) y potencia (A_p) del circuito de la **figura 8.41**, se pueden evaluar a partir de las siguientes fórmulas, cuya demostración se deja como ejercicio para el lector:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_E || R_L}{r'_e + R_E || R_L}$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = A_v \times \frac{Z_i}{R_L}$$

$$A_p = A_v A_i$$

En nuestro caso, $R_E=4,3k\Omega$, $R_L=10k\Omega$, $r'_e=25\Omega$, $Z_i=4,92k\Omega$ y $R_E || R_L=3k\Omega$. De este modo:

$$A_v = \frac{3k\Omega}{25\Omega + 3k\Omega} = 0,99 \text{ (0,07dB)}$$

$$A_i = 0,99 \times \frac{4,92k\Omega}{10k\Omega} = 0,49 \text{ (-6,25dB)}$$

$$A_p = 0,99 \times 0,49 = 0,48 \text{ (-3,1dB)}$$

En general, la ganancia de voltaje de un seguidor de emisor es prácticamente igual a la unidad (0dB), mientras que las ganancias de corriente y de potencia pueden ser iguales, inferiores o superiores a este valor, dependiendo principalmente de los valores de las resistencias de polarización (R_1 , R_2 , R_E) y de la resistencia de carga (R_L). En nuestro caso, por ejemplo, con una R_L de 1k Ω , obtendríamos una ganancia de voltaje de 0,97, una ganancia de corriente de 4,8 y una ganancia de potencia de 4,6. Adicionalmente, un seguidor de emisor amplifica con muy baja distorsión, lo cual lo hace ideal para manejar señales pequeñas.

Circuitos prácticos con transistores (I)

Una vez examinadas cualitativa y cuantitativamente las características estáticas y dinámicas de las tres configuraciones básicas de circuitos amplificadores con transistores (emisor común, base común y colector común o seguidor de emisor), es el momento de examinar algunos circuitos, prácticos y sencillos, donde se aplican las mismas. A continuación se

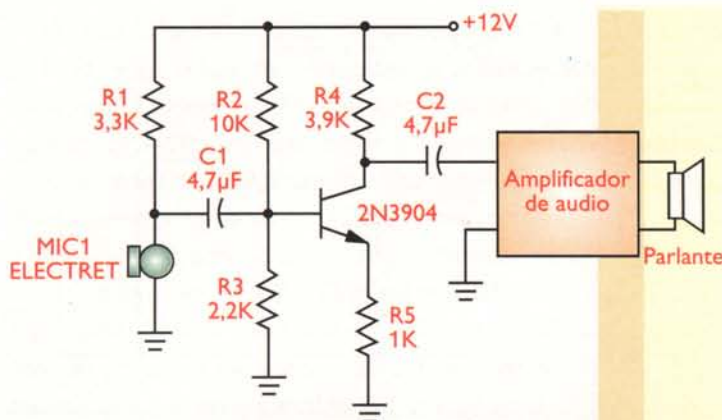


Figura 8.44. Preamplificador para micrófono electret. Este circuito, examinado en el experimento 8.1, ofrece una impedancia de entrada del orden de $1,5k\Omega$ y una ganancia de voltaje máxima de 136. Esta última puede ser aumentada o disminuida variando el valor de la resistencia de colector ($R4$).

presentan, sin ningún orden especial, varios ejemplos de circuitos útiles que hacen uso de estas propiedades. Lo invitamos a que los arme o los monte en un *protoboard* y experimente con ellos para aprender más acerca del fascinante mundo de los transistores y sus posibilidades ilimitadas.

Preamplificador para micrófono electret. En la **figura 8.44** se muestra un preamplificador para micrófono *electret* desarrollado alrededor de una etapa en emisor común que excita un amplificador de potencia. Debido a que un micrófono *electret* es esencialmente un condensador variable de baja capacidad (unos pocos pF), su impedancia en el rango de frecuencias de audio (20Hz a 20kHz) es extremadamente alta. Por la misma razón, debe ser acoplado a una etapa amplificadora de muy alta impedancia. Esta función la efectúa generalmente un seguidor con transistor de efecto de campo (FET), el homólogo del seguidor de emisor, incorporado en la propia cápsula, el cual actúa como *buffer* o adaptador de impedancias, proporcionando una impedancia de salida de unos pocos cientos de ohmios.

Para operar correctamente, el amplificador interno debe ser alimentado o polarizado mediante una tensión de CC externa. En nuestro caso, este voltaje se obtiene de la fuente (12V) a través de una resistencia ($R1$). La señal de salida del micrófono, que es del orden de unos pocos milivoltios, se acopla mediante $C1$ ($4,7\mu F$) a la entrada del preamplifi-

cador ($Q1$), el cual la amplifica sin distorsión hasta un nivel suficiente para excitar el amplificador de potencia. Este último se encarga de reproducirla en el parlante. Las resistencias $R2$ hasta $R5$ fijan el punto de trabajo del preamplificador y determinan, entre otras características, la ganancia de voltaje y la impedancia de entrada.

Resistencia de potencia variable. Una de las principales dificultades que se presentan cuando se prueban fuentes de alimentación, es la disponibilidad de una carga apropiada. Aunque este problema se resuelve comúnmente utilizando un conjunto de resisten-

cias de potencia, muchas veces costosas y difíciles de conseguir. Una alternativa más simple, elegante y económica es utilizando un circuito como el de la **figura 8.45**. En este caso, el transistor 2N3055, conectado como seguidor y con su ganancia de corriente controlada por una fuente independiente (U_v), actúa como una resistencia variable. Con los valores de componentes indicados, la capacidad de disipación de potencia es superior a 50W, asumiendo que el transistor está dotado de un disipador de calor adecuado.

El voltaje de control de la base, que determina el valor de la resistencia entre colector y emisor, puede ser obtenido mediante un divisor de voltaje conectado a través de la fuente externa, como se muestra en la **figura 8.45c**. En este caso, la fuente externa es una batería de 9V. Note la utilización de un *driver* o transistor previo ($Q2$) para controlar el transistor principal ($Q1$). Este transistor, conectado también como seguidor, aumenta considerablemente la impedancia de entrada del circuito, minimizando la demanda de corriente por parte de la batería y prolongando su vida útil. La estructura formada por $Q1$ y $Q2$ se denomina un **darlington** y actúa esencialmente como un transistor de muy alta ganancia de corriente. El circuito puede ser también utilizado como cargador de baterías.

Diodo Zener variable. Un problema muy común cuando se experimenta con circuitos electrónicos, es encontrar los valores correctos de ciertos componentes. Aunque esta selección puede

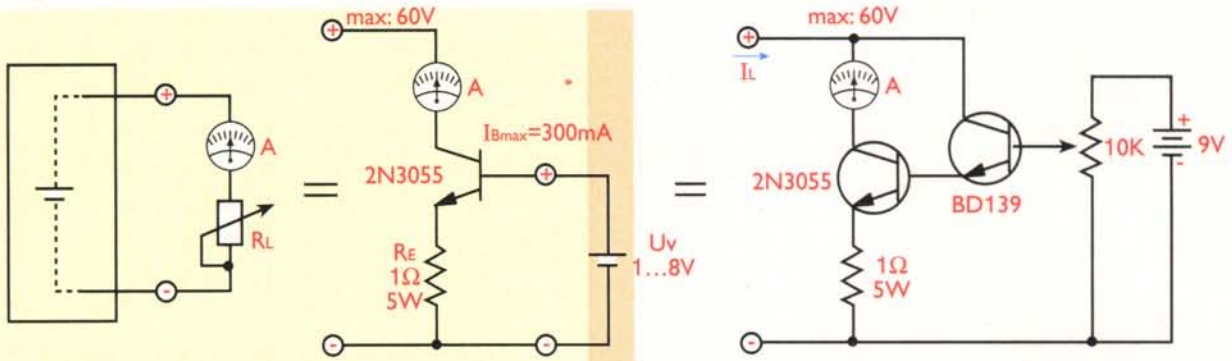


Figura 8.45. Resistencia de potencia variable con transistor. Con un disipador de potencia adecuada, este circuito puede manejar potencias superiores a 50W y proporcionar una gama ilimitada de valores de resistencia. El control se efectúa variando el voltaje aplicado a la base. Puede ser también utilizado para cargar baterías mediante una corriente constante. La batería se conecta en serie con el amperímetro.

hacerse mediante pruebas de ensayo y error, no siempre se dispone de una cantidad suficiente de componentes para cubrir todas las posibilidades. Un ejemplo son los diodos Zener, los cuales vienen en una gama muy amplia de valores. En este caso, lo deseable sería disponer de un diodo Zener de voltaje variable. El circuito de la **figura 8.46** hace exactamente esto, se comporta como un diodo Zener con voltaje variable desde 3V hasta 25V, una capacidad de potencia de 500mW y una resistencia interna del orden de 20Ω a 50Ω.

El funcionamiento del circuito es relativamente simple. Tan pronto el voltaje en la base de T1 supera

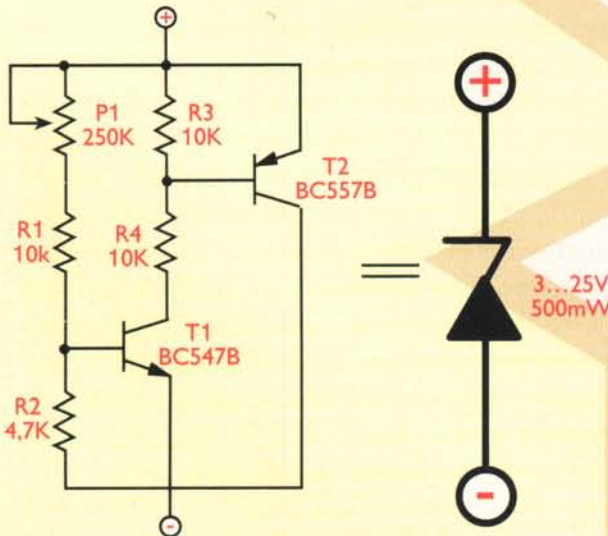


Figura 8.46. Diodo Zener variable. El circuito se utiliza como un diodo Zener normal, proporciona cualquier voltaje de referencia entre 3V y 25V, ajustable mediante P1, y tiene una capacidad de potencia nominal de 500mW. La corriente a través del mismo no debe exceder de 100 mA.

los 0,6V, este transistor conduce, permitiendo que T2 conduzca y se mantenga constante el voltaje entre los puntos «+» y «-», tal como sucede con un diodo Zener. Para fijar el voltaje Zener, el circuito debe ser conectado a la fuente a través de una resistencia de 10K. A continuación, se ajusta el trimmer P1 hasta que se obtenga el voltaje deseado. Si el circuito se utiliza para reemplazar un diodo Zener en un montaje ya existente, esta resistencia no es necesaria. Con los valores de componentes indicados, la corriente a través del circuito no debe exceder de 10mA.

Mezclador de audio en base común. La mezcla de señales de audio se efectúa normalmente utilizando un **amplificador operacional**, un tipo de circuito electrónico muy versátil al cual nos referiremos más adelante. Un efecto similar puede conseguirse utilizando un amplificador en base común, como se muestra en la **figura 8.47**. En este caso, los voltajes de señal de entrada, aplicados al emisor de T1, se transforman por efecto de la baja impedancia de entrada del circuito en corrientes de señal equivalentes, las cuales, cuando se suman entre sí, constituyen la componente de señal (CA) de la corriente de emisor, que es la misma corriente de colector. La señal de salida se obtiene del colector de T1.

La ganancia o cantidad de amplificación (A_v) proporcionada por este circuito para cada señal de entrada, es igual a R_6/R_i , siendo $R_i = R_5, R_6$, etc., la resistencia de entrada en la rama correspondiente. Por ejemplo, si $R_6=3,3K$ y se desea una ganancia de 4 (12dB) para la señal aplicada a la segunda

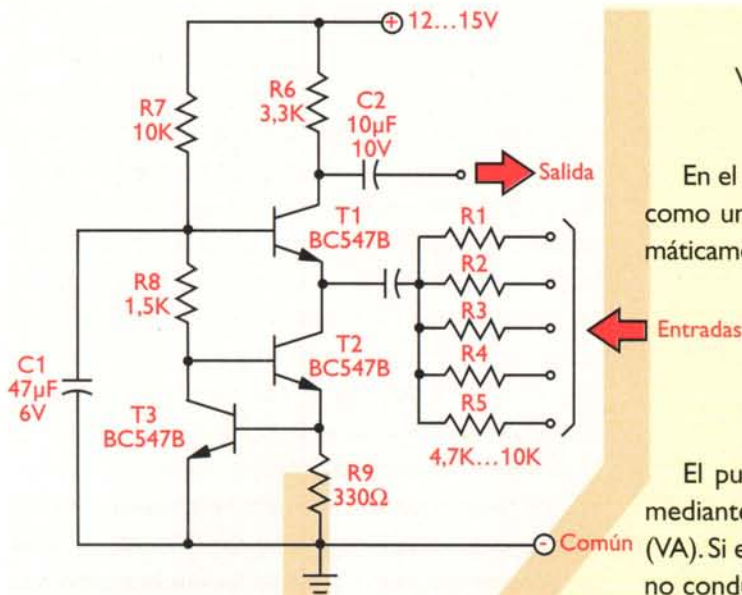


Figura 8.47. Mezclador de audio en base común. El circuito suma las señales de entrada aplicadas en el emisor de T1 en las proporciones deseadas y produce en el colector una señal que las contiene a todas. La ganancia para cada señal de entrada es $R6/Ri$, siendo $Ri=R5, R5, etc.$ T2 y T3 forman una fuente de corriente.

entrada, entonces R2 debe ser del orden de $13k\Omega$. El circuito formado por T2 y T3 opera como una **fuentes de corriente**, proporcionando una alta impedancia para las señales de entrada. El voltaje de polarización de la base de T1 lo fijan las resistencias R7 y R8. El condensador C1 garantiza el desacoplamiento efectivo de la base en condiciones de señal. El número de entradas se puede extender o recortar según las necesidades.

Fuente de voltaje programable. El circuito de la figura 8.48, basado en el uso de un regulador de tensión ajustable LM317 (IC1) y un transistor (T1), permite conmutar automáticamente el voltaje de salida de 5V a 21V, o viceversa. Esta característica es muy útil, por ejemplo, para programar ciertos tipos de memorias utilizadas en los sistemas digitales para almacenar información. El transistor, conectado en emisor común, está polarizado de tal modo que opere como un **interruptor**, es decir con su punto de trabajo siempre muy cerca del punto de saturación o del punto de corte. En el primer caso (saturación), actúa como un interruptor cerrado, conectando automáticamente R3 en paralelo con R2. Bajo esta condición, el voltaje de salida (V_o) es:

$$V_o = 1,25V \left[1 + \frac{R2 \parallel R3}{R1} \right] = 5V$$

En el segundo caso (corte), el transistor T1 actúa como un interruptor abierto, desconectando automáticamente la resistencia R3. Bajo esta condición, el voltaje de salida (V_o) es simplemente:

$$V_o = 1,25V \left[1 + \frac{R2}{R1} \right] = 21V$$

El punto de trabajo del transistor se controla mediante un voltaje aplicado en el circuito de base (VA). Si este último es del orden de 0V, el transistor no conduce y permanece en el punto de corte. Sin embargo, si este voltaje es, por ejemplo, 5V, el transistor conduce plenamente, más allá de la zona activa, y pasa al punto de saturación. Este modo de funcionamiento de los transistores es la esencia de los sistemas digitales, como veremos más adelante.

Convertidor de voltaje a frecuencia. El circuito mostrado en la figura 8.49 produce un voltaje de CC de salida (V_o) proporcional a la frecuencia de una señal de entrada (V_i). Esta última debe ser una onda cuadrada, tener una amplitud constante y ser proporcionada por una fuente de baja impedancia. El corazón del circuito es el transistor T1, conectado en la configuración base común. Cuando la señal de entrada está en su nivel inferior, di-

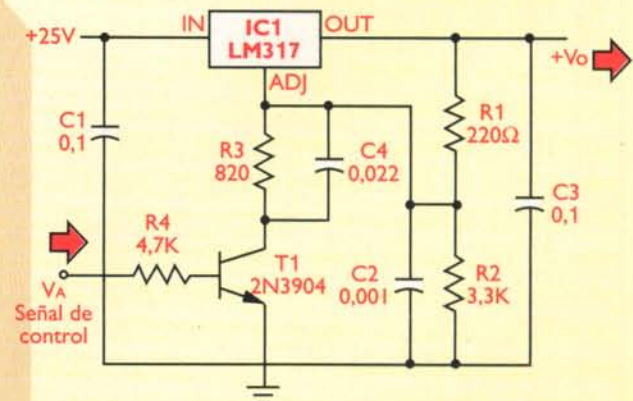


Figura 8.48. Fuente de voltaje programable. El circuito produce un voltaje de salida (V_o) de 21V o de 5V, dependiendo, respectivamente, de si en la entrada (A) se aplica 0V o un voltaje suficiente para saturar el transistor, por ejemplo 5V.

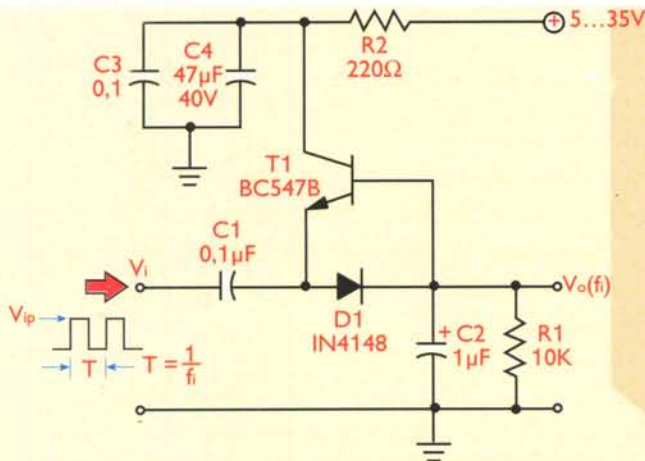


Figura 8.49. Convertidor de frecuencia a voltaje

gamos 0V, el condensador C1 se carga rápidamente hasta alcanzar un voltaje igual a $V_{C2} - V_{BE}$; siendo V_{C2} el voltaje sobre C2 (igual al voltaje de salida) y V_{BE} la caída de voltaje directa sobre el diodo D1.

Cuando V_i pasa a su nivel superior, digamos 5V, la carga almacenada en C1 se transfiere al condensador C2, el cual, a su vez, se descarga a través de R1. Cuando C1 pasa nuevamente a su nivel inferior, C2 vuelve a cargarse, y así sucesivamente. El proceso, denominado por lo mismo **bombeo de carga**, se repite indefinidamente. Como resultado, sobre R1 se produce un voltaje de CC de salida (V_o) cuyo valor promedio esta dado por la siguiente fórmula:

$$V_o = (V_{ip} - 0.7V) R1 C1 f_i$$

siendo f_i la frecuencia y V_{ip} el valor pico de la señal de entrada. Con los valores de componentes indicados en el circuito, el voltaje de salida (V_o) crece a una velocidad de aproximadamente 4,3mV/Hz cuando se utiliza una señal de entrada que oscila entre 0V y 5V. Esto significa que si, por ejemplo, la frecuencia de la señal de entrada es de 1kHz, el voltaje de salida es del orden de 4,3V. La amplitud del rizado o *ripple* presente en el voltaje de salida es del orden de 400mV. El voltaje de alimentación (V_{cc}) debe ser, por lo menos, 2V mayor que el máximo voltaje de salida esperado. Para no alterar el funcionamiento del circuito, V_o debe ser siempre transferido a una carga de alta impedancia, tal como un seguidor de emisor o un multímetro digital.

Interruptor electrónico de toque. En la figura 8.50 se muestra un circuito que ilumina un LED cuando se toca con los dedos un par de contactos metálicos muy próximos entre sí. El circuito está construido alrededor de un par de transistores: un NPN (Q1) con una muy alta ganancia de corriente (superior a 400), el cual actúa como dispositivo sensor, y un PNP (Q2) de ganancia moderada (100), el cual actúa como interruptor. En condiciones normales, con los contactos de toque libres, Q1 no recibe corriente de base y por tanto no conduce. Como resultado, la base de Q2 queda conectada a la alimentación positiva (+9V) a través de R3+R4. Por lo mismo, este transistor tampoco conduce. Puesto que no hay corriente de colector, el LED permanece apagado y en la salida se obtienen 0V.

De otro lado, cuando se tocan los contactos, la resistencia propia de la piel cierra el circuito de polarización de base de Q1, permitiendo la circulación de una corriente de base relativamente pequeña a través de Q1, suficiente para que este transistor conduzca y conecte el circuito de base de Q2 a tierra. Bajo esta condición, Q2 queda correctamente polarizado y conduce, permitiendo la circulación de una corriente de colector importante a través del LED. Como resultado, este último se ilumina y en la salida se obtienen aproximadamente 9V. Este voltaje, convenientemente amplificado en potencia, puede ser utilizado posteriormente para otros fines, por ejemplo conectar o desconectar un motor.

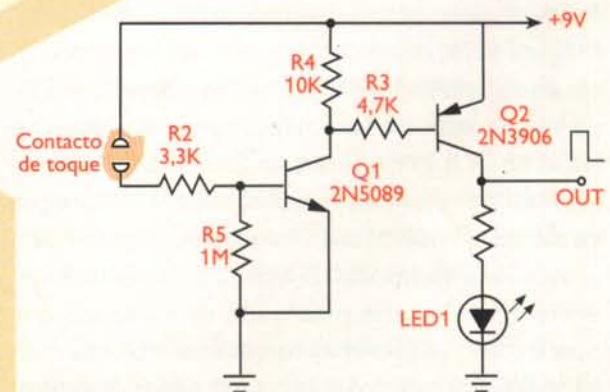


Figura 8.50. Interruptor electrónico de toque. El LED se ilumina cuando se tocan los contactos con la piel y se apaga cuando estos contactos se liberan. La señal disponible en la salida puede ser amplificada posteriormente para efectuar acciones especiales, por ejemplo, prender una lámpara de cierta potencia.

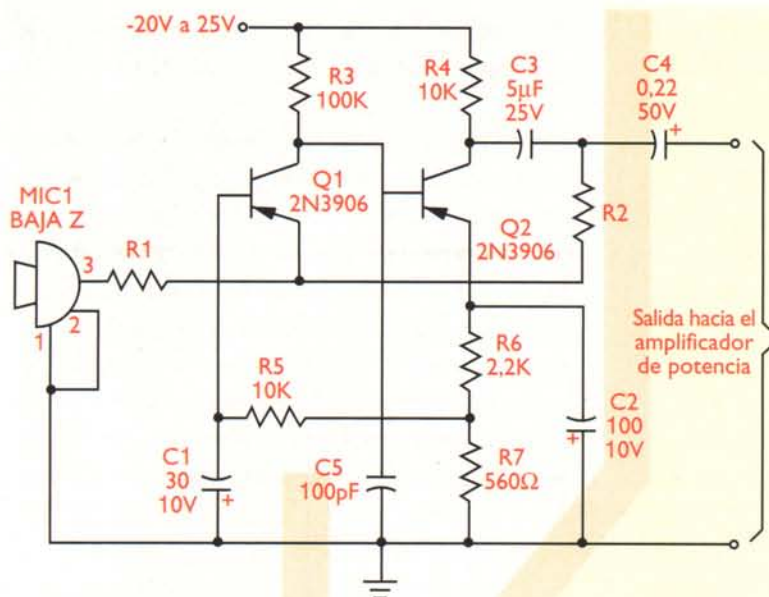


Figura 8.51. Amplificador para micrófono de baja impedancia. El valor de $R1$ se escoge de acuerdo a la impedancia nominal del micrófono (por ejemplo 50Ω) y el de $R2$ según la ganancia requerida hasta obtener una salida de señal de $1V_{rms}$ para atacar el amplificador de audio.

El circuito de la **figura 8.51** amplifica la señal de salida de un micrófono dinámico o de baja impedancia hasta un nivel suficiente para impulsar la entrada de un amplificador de potencia de audio estándar. El transistor $Q1$, conectado en la configuración base común, actúa como adaptador de impedancias. $R1$ se escoge igual a la impedancia nominal del micrófono. La resistencia $R2$ determina la ganancia de voltaje de la etapa. Observe que la corriente de base de $Q1$ se deriva de un divisor de voltaje ($R6$, $R7$) conectado al emisor de $Q2$. Esto se hace con el fin de garantizar una alta estabilidad del punto de trabajo frente a las variaciones de temperatura y las tolerancias en los valores de los componentes.

Amplificadores de baja señal con transistores de efecto de campo

Todos los amplificadores examinados hasta el momento están basados en el uso de **transistores bipolares** o **BJT** (*bipolar junction transistors*), que son dispositivos de tres terminales controlados por corriente. En ellos, una pequeña variación en la corriente aplicada a la base (electrodo de control) produce una gran variación en la corriente que circula

entre el colector y el emisor (electrodos de salida). Esta acción básica se aprovecha para producir amplificación de corriente, voltaje o potencia. Los transistores bipolares son la espina dorsal de la electrónica moderna. Sin embargo, no son siempre la mejor elección en algunas situaciones específicas, por ejemplo, cuando se requiere de una impedancia de entrada extremadamente alta o un bajo consumo de potencia. Por fortuna, existe una alternativa: los transistores de efecto de campo o **FET** (*field effect transistors*), **figura 8.52**.

Los FET, cuya teoría de funcionamiento se examina en la sección de componentes de este curso, son dispositivos de tres terminales controlados por voltaje. Esto significa que, en ellos, una pequeña variación en el voltaje aplicado al electrodo de control, llamado **compuerta** o **gate** (G), produce una gran variación en la corriente a través de los electrodos de salida, llamados **fuelle** o **source** (S) y **drenador** o **drain** (D). Existen **FET**

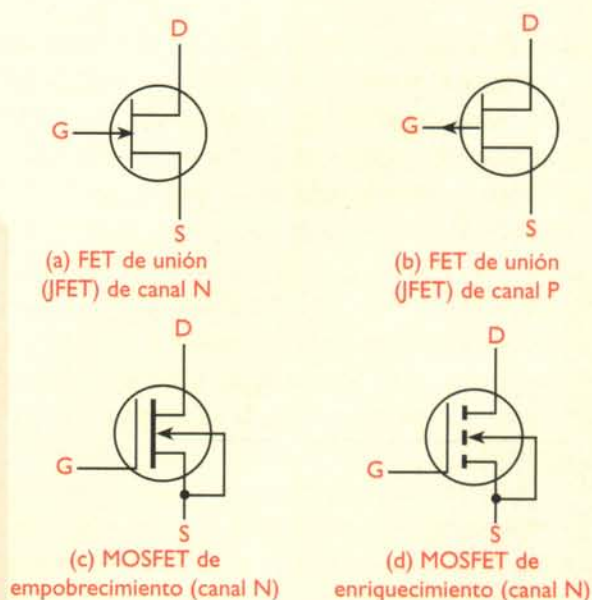


Figura 8.52. Símbolos de transistores de efecto de campo o FET. La compuerta (G), el drenador (D) y el surtidor o fuente (S) son equivalentes, en su orden, a la base (B), el colector (C) y el emisor (E) de un BJT. La barra vertical representa el canal.

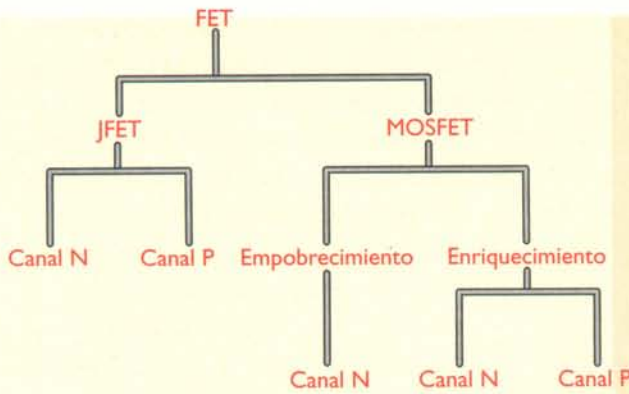


Figura 8.53. Clasificación de los transistores de efecto de campo

de unión o **JFET** (*junction field effect transistors*) y **FET de compuerta aislada** o **IGFET** (*insulated gate field effect transistors*), figura 8.53. Estos últimos son mejor conocidos como **MOSFET** (*metal-oxide-semiconductor field effect transistors*), o simplemente transistores MOS, por sus características constructivas, figura 8.53. Inicialmente centraremos nuestra atención en los amplificadores con JFET.

Los transistores de efecto de campo comparten al mismo tiempo varias semejanzas y diferencias con los transistores bipolares. Por ejemplo:

- Ambos son dispositivos de tres terminales en los cuales la conducción entre los electrodos de salida depende de la disponibilidad de portadores de carga. Esta última se gobierna mediante un voltaje aplicado, directa o indirectamente, al electrodo de control.
- En un BJT, la unión colector-base debe estar polarizada inversamente, mientras que la unión base-emisor debe estarlo directamente. En un FET, por su parte, tanto la unión drenador-compuerta como la unión compuerta-fuente, siempre se polarizan inversamente. No hay uniones polarizadas en directo. Esto significa que a través de la compuerta sólo circula una corriente muy débil, prácticamente nula (0), lo cual implica una impedancia de entrada muy alta, casi infinita. Esta alta impedancia, en muchos casos superior a $10^{14}\Omega$, es la principal ventaja de los

JFET sobre los transistores bipolares, lo que posibilita muchas aplicaciones inusuales.

- Los BJT son dispositivos bipolares, lo que implica que dependen para su operación de los dos tipos de portadores de carga (electrones y huecos). Los FET son dispositivos unipolares, es decir, funcionan con un solo tipo de portadores de carga (electrones o huecos). En un transistor NPN, por ejemplo, los electrones actúan como portadores mayoritarios y los huecos como portadores minoritarios. En un FET de canal N, por su parte, la conducción se debe únicamente a los electrones, que son los portadores mayoritarios.

Características de entrada y de salida de los FET de unión

Todos los FET de unión (JFET), sin excepción, operan en el modo de empobrecimiento (*depletion*). Esto significa que a través del canal fuente-drenador circula la máxima corriente (I_{Dmax}) cuando la polarización de la compuerta (V_{GS}) es cero. Para reducir esta corriente o cortarla completamente (llevarla a cero), la compuerta debe ser polarizada inversamente. En el caso de un JFET de canal N, por ejemplo, debe aplicarse una polarización negativa, mientras que en el de un JFET de canal P debe aplicarse una polarización positiva. Esta situación se ilustra gráficamente mediante una **curva característica de transferencia**, como la mostrada en la figura 8.54. En este caso particular, la I_D máxima, correspondiente a $V_{GS}=0$, es de 10mA, mientras que la tensión V_{GS} de corte, correspondiente a $I_D=0$, es de -4V.

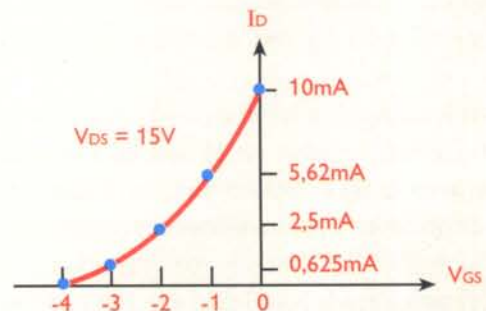
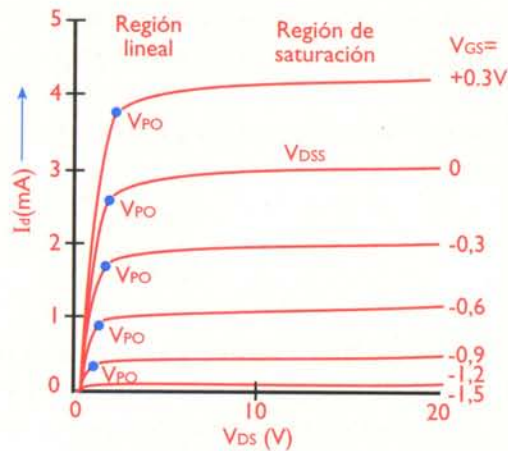
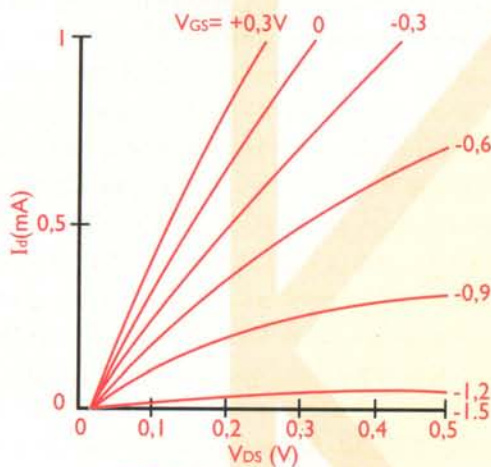


Figura 8.54. Curva característica de transferencia típica de un JFET



(a) Características generales de salida



(b) Detalle de la región lineal.

Figura 8.55. Curvas características de salida de un JFET representativo

De igual forma, el comportamiento de la corriente de drenador (I_D) en función del voltaje drenador-fuente (V_{DS}) para distintos valores de la tensión de compuerta (V_{GS}) se representa gráficamente mediante un conjunto de **curvas características de salida**, como las mostradas en la **figura 8.55a**, muy similares a las de un BJT. Observe que en cada caso la corriente I_D se incrementa rápidamente al principio para luego estabilizarse y permanecer prácticamente constante. Si la tensión de drenador (V_{DS}) es muy alta, por encima de su valor máximo, el JFET entra en la zona de ruptura y se destruye físicamente. En nuestro caso, esta tensión (V_{DSmax}) es del orden de 25V.

La parte plana de cada curva característica de salida, donde la corriente I_D es prácticamente cons-

tante, se denomina **región de saturación** y se localiza entre la tensión de ruptura (V_{DSmax}) y una tensión mínima, llamada **tensión de estrangulamiento** (V_P o V_{PO}). Asimismo, la parte de la curva comprendida entre $V_{DS}=0$ y $V_{DS}=V_P$ se denomina **región lineal** u **óhmica**. En esta zona, mostrada en detalle en la **figura 8.55b**, el dispositivo se comporta básicamente como una resistencia.

El valor de I_D obtenido con $V_{GS}=0$ (compuerta en cortocircuito con la fuente) se designa en las hojas de datos de los JFET como I_{DSS} y corresponde prácticamente a la máxima corriente que es capaz de transportar el dispositivo. Éste es uno de los principales parámetros de los JFET. Para el **2N5484** de Motorola, por ejemplo, el valor de I_{DSS} fluctúa entre 1mA y 5mA. Otra especificación importante de los JFET es la tensión puerta-fuente de corte ($V_{GS(off)}$), correspondiente al mínimo voltaje de compuerta necesario para llevar el dispositivo al corte, es decir reducir la I_D a cero. Por regla general, esta tensión es siempre igual a la de estrangulamiento (V_{PO}) y de polaridad opuesta. Esto es:

$$V_{GS(off)} = -V_{PO}$$

Por ejemplo, si $V_{GS(off)}=-4V$, entonces automáticamente $V_{PO}=+4V$. Por esta razón, el valor de V_{PO} normalmente no se proporciona en las hojas de datos. De todas formas, el valor de V_{GS} no debe ser superior a un valor máximo o de ruptura, especificado como V_{GSR} . Para el 2N5484, por ejemplo, $V_{GSR}=-25V$. Igualmente importante es la **transconductancia**, que es el parámetro natural de ganancia de los FET, como lo es el β en los BJT. La transconductancia se designa como **gm** o **yfs** y se define como la relación de cambio entre la corriente de drenador (I_D) y la tensión de compuerta (V_{GS}). Esto es:

$$g_m = y_{fs} = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{i_d}{v_{gs}}$$

siendo ΔI_D la variación en la corriente de drenador debida a una variación ΔV_{GS} en la tensión

Parámetro	Valor	Descripción
V _{DS}	+25V (max)	Máxima tensión drenador- fuente
V _{DG}	+25V (max)	Máxima tensión drenador- compuerta
V _{GS}	-25V (max)	Máxima tensión compuerta- fuente
V _{GS (off)}	-6V (max)	Máxima tensión compuerta fuente para el corte de I _D
I _{DSS}	2 - 20 mA	Corriente drenador- fuente con V _{gr} =0
I _{GSS}	-1nA max	Máxima corriente de fuga a 25°C
I _G	10mA	Máxima corriente de compuerta
g _m	3 - 6 mmho	Transconductancia con señal débil y montaje de fuente común
C _{iss}	5pf max	Máxima capacidad de entrada en configuración fuente común
P _T	350 mWmax	Máxima disipación de potencia al aire
f _r	100 MHz	Producto ganancia- banda de paso
I _D	30 mA	Máxima corriente de drenador

Figura 8.56. Especificaciones de un JFET representativo (2N5484)

de compuerta, e *i_d* y *v_{gs}* los valores instantáneos de señal correspondientes. La tabla de la **figura 8.56** relaciona los valores máximos de éstos y otros parámetros para el 2N5484, un JFET representativo muy utilizado en amplificadores de baja y alta frecuencia.

Esquemas de polarización de los JFET. Polarización de compuerta

Los JFET, al igual que los BJT, pueden ser utilizados básicamente de dos formas: como interruptores en circuitos digitales o como amplificadores en circuitos analógicos. En el primer caso, su punto de trabajo oscila entre la saturación y el corte, mientras que en el segundo debe mantenerse dentro de la región activa. Para que esto último sea posible, el dispositivo debe ser polarizado adecuadamente, teniendo en cuenta que la unión compuerta-fuente se polariza siempre en inverso. En las **figuras 8.57** hasta **8.63** se muestran varios esquemas de polarización posibles, aunque no todos ellos son los más adecuados, especialmente porque la ubicación del punto Q depende de la corriente I_{DSS} y la tensión V_{GS(off)}, que son dos parámetros muy variables de un JFET a otro.

La forma más sencilla y también la más ineficiente, de polarizar un JFET, es aplicar una tensión fija a la compuerta, como se muestra en la **figura**

8.57. En este caso, la corriente de drenador (I_D) puede ser evaluada gráficamente a partir de la curva de transferencia del JFET o matemáticamente a partir de la siguiente ecuación:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2$$

siendo **V_{GS}** y **V_{GS(off)}** las magnitudes tensiones de polarización y de corte de la compuerta, e **I_{DSS}** la máxima corriente de colector. Esta ecuación es válida para cualquier JFET, tanto de canal N como de canal P, operando en la zona activa. Debido a que los valores de I_{DSS} y V_{GS(off)} no son constantes, sino que varían de un JFET a otro incluso de la misma referencia, el valor real de I_D puede fluctuar dentro de una gama muy amplia de valores. Esto implica que el punto de trabajo obtenido mediante este esquema de polarización es muy inestable. Por esta razón, la polarización de compuerta no es adecuada para amplificadores de baja señal. El siguiente ejemplo aclarará estos conceptos.

Ejemplo. Un amplificador de baja señal utiliza un esquema de polarización como el de la **figura 8.57** con V_{DD}=12V y R_D=4,7kΩ. El JFET seleccionado como elemento activo se especifica con una corriente I_{DSS} variable entre 1mA y 5mA, y una tensión V_{GS(off)} variable entre -0,3V y -3V. Si se aplica una tensión de polarización de compuerta (V_{GS}=V_G) de -2V, ¿cuáles serán los posibles puntos de trabajo (I_{DQ},V_{DQ}) posibles para este amplificador?

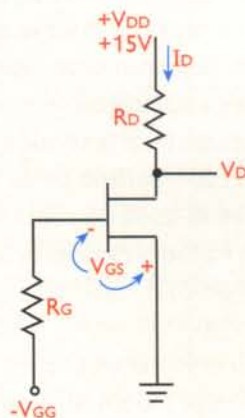


Figura 8.57. Polarización de compuerta

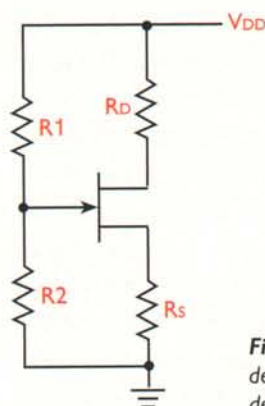


Figura 8.58. Polarización de un JFET mediante divisor de tensión

Solución. Con $V_{GS(off)} = -0,3V$, I_D sería 0, debido a que el valor de $V_{GS(off)}$ es inferior a $V_{GS} (-2V)$. Bajo esta condición, no habría una caída de voltaje sobre R_D y la tensión de drenador (V_D) sería igual a la tensión de alimentación (V_{DD}), es decir $-12V$, independientemente del valor real de I_{DSS} . Por tanto, el punto de trabajo coincidiría con el punto de corte. Resumiendo:

$$I_{D(min)} = 0$$

$$V_{D(max)} = V_{DD} = 12V$$

Con $V_{GS(off)} = -3V$, la corriente de drenador (I_D) sería mayor de cero, ya que este valor es superior a $V_{GS} (-2V)$. Puesto que I_D es proporcional a I_{DSS} , la máxima corriente de drenador se obtendría con $I_{DSS} = 5mA$. Bajo esta condición, asumiendo que el JFET opera en la zona activa, los valores correspondientes de I_D y V_D en condiciones de reposo serían:

$$I_{D(max)} = 5mA \times \left(1 - \frac{2V}{3V}\right)^2 = 0,555mA$$

$$V_{D(min)} = V_{DD} - I_{D(max)} \times R_D$$

$$= 12V - 0,555mA \times 4,7k\Omega = 9,39V$$

Por tanto, como consecuencia de la dispersión en los valores de I_{DSS} y $V_{GS(off)}$, el punto real de trabajo de nuestro amplificador podría estar ubicado como mínimo en $V_D = 9,39V$ e $I_D = 0,555mA$, y como máximo en $V_D = 12V$ e $I_D = 0$, que es el mismo punto de corte del JFET. Estos resultados demuestran la incapacidad del esquema de polarización de

compuerta para mantener un punto de trabajo estable.

Polarización mediante divisor de tensión

Una opción a la polarización de compuerta es utilizar un divisor de tensión, como se muestra en la figura 8.58. Nuevamente, aunque con una selección adecuada de los valores de estos componentes es posible conseguir un punto de trabajo estable, este esquema de polarización no es adecuado para JFET, aunque sí para transistores bipolares. Por esta razón no lo examinaremos en detalle.

Polarización mediante dos fuentes de alimentación

Una tercera alternativa es utilizar dos fuentes de alimentación, como se muestra en la figura 8.59. Este esquema de polarización produce un punto de trabajo más estable que los dos anteriores. En este caso, la resistencia de compuerta (R_G) está conectada a tierra y se aprovecha la tensión desarrollada sobre la resistencia de la fuente (R_S) para polarizar inversamente la compuerta. Puesto que la corriente de compuerta es cero, no hay caída de voltaje a través de R_G . La tensión de polarización V_{GS} está dada por:

$$V_{GS} = I_D R_S - V_{SS}$$

siendo I_D la corriente de drenador (numéricamente igual a la tensión de fuente, I_S) y V_{SS} la magni-

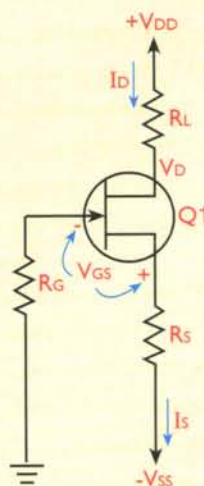


Figura 8.59. Polarización mediante fuente dual

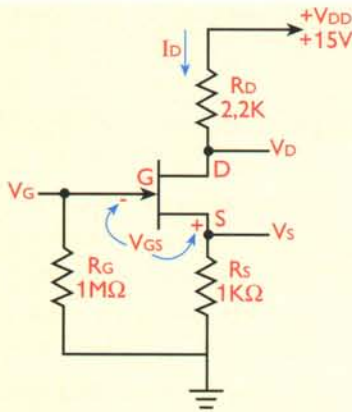


Figura 8.60. Polarización automática (autopolarización) de un JFET

tud de la tensión de polarización de fuente. Si, por ejemplo, I_{DSS} aumenta, entonces I_D tiende también a aumentar. Esto provoca que la tensión V_{GS} también aumente, disminuyendo así la corriente I_D y neutralizando su tendencia a aumentar. Por tanto, I_D permanece esencialmente constante, o al menos bastante estable, lo mismo el punto de trabajo. Un análisis similar puede hacerse cuando $V_{GS(off)}$ cambia.

Autopolarización

El mismo resultado anterior se obtiene utilizando una sola fuente de alimentación bajo un esquema como el mostrado en la figura 8.60, llamado **polarización automática** o **autopolarización**. Esta es la configuración favorita de los diseñadores de amplificadores con JFET debido a que produce un punto de trabajo muy estable sin necesidad de recurrir a una fuente de alimentación adicional. Nuevamente, la idea básica es aprovechar la caída de tensión sobre la resistencia de fuente (R_S) y la alta impedancia de entrada del JFET para obtener la tensión de polarización inversa de la compuerta (V_{GS}). Esta última está dada simplemente por:

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

El mecanismo de estabilización del punto de trabajo, frente a las variaciones de I_{DSS} y $V_{GS(off)}$, es el mismo que se mencionó anteriormente para el circuito de polarización con fuente dual. Si, por ejemplo, el voltaje $V_{GS(off)}$ aumenta, entonces I_D tiende a disminuir. Esto provoca que la tensión V_{GS} también

disminuya, aumentando así la corriente I_D y neutralizando su tendencia a aumentar. De este modo, la corriente I_D , y por tanto el punto de trabajo del amplificador, permanecen estables. Un análisis similar puede hacerse cuando la corriente I_{DSS} cambia, ya sea porque se utiliza otro transistor de la misma referencia o porque varía la temperatura. Los valores de R_S y R_D necesarios para obtener un punto de trabajo dado (I_D, V_D) pueden calcularse en forma aproximada mediante las siguientes fórmulas:

$$R_S = \frac{V_{GS(off)}}{I_{DSS}}$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D}$$

$$R_G \gg 100K$$

Ejemplo. Considere que en el circuito de la figura 8.60 la tensión V_{DD} es de 10V y se desea polarizar el amplificador en el punto de trabajo Q correspondiente a $I_D=2mA$ y $V_D=5V$. Para ello se utiliza un JFET con valores nominales de $V_{GS(off)}$ e I_{DSS} de -4V y 10mA, respectivamente. Determinar los valores de R_D, R_S y R_G , así como el de la tensión de polarización de la compuerta (V_{GS}).

Solución. El valor de R_G lo establecemos arbitrariamente en $1M\Omega$ o más alto, Para el cálculo de R_S, R_D y V_{GS} procedemos así:

$$R_S = \frac{V_{GS(off)}}{I_{DSS}} = \frac{4V}{10mA} = 400\Omega$$

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = \frac{10V - 5V}{2mA} = 2,5k\Omega$$

$$V_{GS} = I_D R_S = 2mA \times 400\Omega = -0,8V$$

Observe que este último valor (-0,8V) es inferior al de corte (-4V) y superior a 0V. Por tanto, el JFET trabaja en la zona activa. Note también que, como $V_{GS(off)}=V_{PO}$ (tensión de estrangulamiento), el valor de R_S es numéricamente igual al de la resistencia drenador-fuente (R_{DS}) en la zona óhmica de la curva característica de salida. En la práctica,

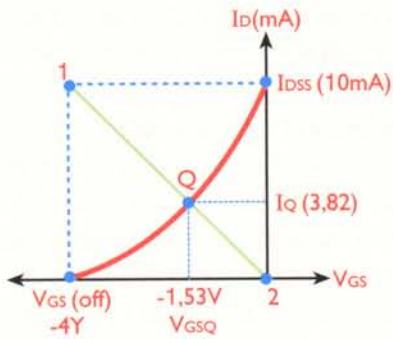


Figura 8.61. Cálculo gráfico de la resistencia de fuente (R_S) y el punto de trabajo (Q) de un JFET autopolarizado

los valores exactos de I_D y V_D dependen del valor real de la tensión V_{GS} necesario para satisfacer la ecuación del FET, es decir:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2$$

En nuestro caso, se puede demostrar que con $R_S=400\Omega$, el valor real de la corriente I_D obtenido es del orden de 3,82 mA, lo cual produce un voltaje de polarización de compuerta (V_{GS}) de $-1,53V$. En la práctica, estos valores se pueden determinar en forma gráfica utilizando la característica de transferencia del JFET, como se ilustra en la **figura 8.61**. En este caso, el punto de trabajo Q (V_{GSQ} , I_{DQ}) corresponde a la intersección de la curva de transferencia del JFET con la recta trazada desde el punto **1** ($V_{GS}=V_{GS(off)}$, $I_D=I_{DSS}$) hasta el punto **2** ($V_{GS}=0$, $I_D=0$). El punto Q así obtenido no siempre coincide exactamente con el punto medio de la curva característica, pero es aceptable para la mayoría de aplicaciones prácticas.

En la práctica, el valor real de la resistencia R_S necesario para conseguir una corriente I_D específica en un JFET autopolarizado puede variar ampliamente, incluso entre transistores idénticos. Por esta razón, el valor de R_S determinado, matemática o gráficamente, mediante los procedimientos antes descritos debe ser considerado sólo como una aproximación. El valor definitivo se encuentra por pruebas de ensayo y error, ya sea utilizando un potenciómetro, un *trimmer*, o un juego de resistencias fijas de diferentes valores.

Nota. En éste, como en los demás esquemas de polarización que examinaremos a continuación, la resistencia R_G puede tener cualquier valor, hasta $10M\Omega$ máximo. Este límite lo determina la corriente inversa de fuga de la compuerta, designada como I_{GSS} en las hojas de datos, la cual puede llegar a imponer sobre esta resistencia una caída de voltaje suficiente para alterar las condiciones de polarización. Para el 2N5484, por ejemplo, la corriente I_{GSS} puede llegar a ser hasta de $-2\mu A$ en el peor de los casos. Esta corriente, al circular a través de una resistencia R_G de $10M\Omega$ produciría una caída de voltaje positiva de ¡20V!. De este modo, para conseguir una tensión de polarización de compuerta, por ejemplo, de $-2V$, la caída de tensión sobre la resistencia de fuente (R_S) debería ser de ¡22V!.

Polarización de compuerta con referencia (offset)

El esquema de autopolarización, discutido anteriormente, proporciona resultados satisfactorios para la mayoría de las aplicaciones prácticas, pero no es muy exacto debido a la dificultad para fijar la corriente I_D en un valor específico. La polarización por voltaje de referencia u *offset*, ilustrada en la **figura 8.62**, ofrece mejores resultados, a expensas de una mayor complejidad. En este caso, el divisor de tensión formado por las resistencias R_1 y R_2 proporciona, a través de la resistencia R_G , una tensión de polarización positiva fija (V_B), la cual se resta de la tensión sobre R_S (V_{RS}) para establecer el voltaje de polarización compuerta-fuente (V_{GS}). Esto es:

$$V_{GS} = V_{RS} - V_B$$

Naturalmente, V_{RS} debe ser mayor que V_B para que el valor resultante de V_{GS} sea negativo. De este modo, si V_B es grande comparada con V_{GS} , la corriente I_D depende principalmente del valor de R_S y V_B . Por tanto, no está muy influenciada por las variaciones de la tensión V_{GS} entre transistores individuales. Todo esto permite que la corriente I_D pueda ser fijada exactamente, evitando la tediosa tarea de tener que seleccionar, por ensayo y error, la resistencia R_S óptima.

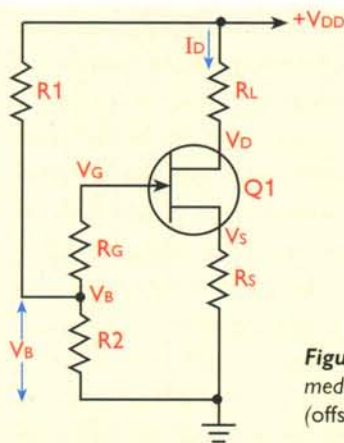


Figura 8.62. Polarización mediante tensión comparativa (offset)

Polarización mediante fuente de corriente constante

Otro método muy eficiente de polarizar un amplificador con JFET es utilizando una fuente de corriente constante, como se ilustra en la figura 8.63. En este caso, la resistencia de fuente (R_s) es reemplazada por el transistor bipolar Q2 y sus componentes asociados (R_1 - R_3), los cuales se encargan de establecer la corriente I_D e independizarla de la tensión V_{GS} . Esta corriente es igual a la corriente de colector (I_C) de Q2 y se puede evaluar así:

$$I_D = I_C = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

siendo

$$V_B = V_{DD} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

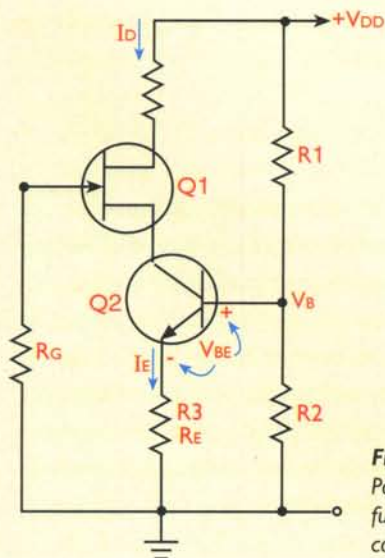


Figura 8.63. Polarización mediante fuente de corriente constante

Por ejemplo, si $R_1=8,2k\Omega$, $R_2=1,6 k\Omega$, $R_3=1 k\Omega$ y $V_{DD}=10V$, entonces, asumiendo $V_{BE}=0,63V$, la corriente I_D es exactamente igual a $1mA$ y no depende de las características del JFET, particularmente de la tensión de corte ($V_{GS(off)}$) y de la corriente de saturación (I_{DSS}), que son, como ya sabemos, dos parámetros muy variables de un transistor a otro. Esto garantiza una alta estabilidad del punto de polarización o trabajo, a expensas de algunos componentes adicionales. Para mayor exactitud, la resistencia R_2 puede ser reemplazada por un diodo Zener o un voltaje de referencia fijo.

Circuito equivalente de baja señal de un amplificador con JFET

Para efectos prácticos, desde el punto de vista de su función como amplificador, un JFET puede ser representado mediante un circuito equivalente como el de la figura 8.64, válido para señales pequeñas, es decir, aquellas que producen variaciones en la corriente de drenador (i_d) inferiores al 10% de su valor en reposo. En este caso, R_{GS} representa la resistencia de la unión compuerta-fuente que, como sabemos, es muy alta, del orden de varios cientos de megaohmios. El drenador se comporta como una fuente que proporciona una corriente (i_d) proporcional al voltaje de señal aplicado en la compuerta (v_{gs}). La constante de proporcionalidad es precisamente la **transconductancia** (g_m) del dispositivo, la cual se expresa en mhos (Ω , al revés), o siemens (S). Esto es:

$$i_d = (g_m) \times (v_{gs})$$

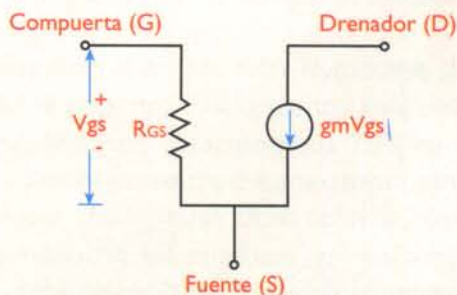


Figura 8.64. Circuito equivalente de señal para un JFET. R_{GS} representa la resistencia de la unión compuerta-fuente, que es muy alta, v_{gs} el voltaje de señal de la compuerta, i_d la corriente de señal de drenador y $g_m=i_d/v_{gs}$ la transconductancia para la tensión de polarización de compuerta (V_{GS}) del dispositivo.

De este modo, si $g_m = 3.000 \mu\text{mho}$, entonces una variación de $0,15\text{V}$ en el voltaje de compuerta (v_{gs} o ΔV_{GS}) produce una variación de $3.000 \mu\text{mho} \times 0,15\text{V} = 450 \mu\text{A}$ en la corriente de drenador (i_d o ΔI_D), con respecto a su valor de polarización. La transconductancia (g_m) varía con la tensión de polarización de compuerta (V_{GS}), alcanzando su valor máximo cuando $V_{GS} = 0$. Este valor máximo se designa en las hojas de datos como g_{m0} , g_{fs0} o y_{fs0} . El JFET **2N5484** de ON Semiconductor, por citar un caso, se especifica con una g_{m0} mínima de $2.500 \mu\text{mho}$. En general, la transconductancia (g_m) de un JFET, para cualquier valor de V_{GS} , se puede evaluar a partir de la siguiente fórmula:

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(\text{off})}} \right)$$

Por ejemplo, si $g_{m0} = 3.000 \mu\text{mho}$, $V_{GS(\text{off})} = -3\text{V}$ y $V_{GS} = -1\text{V}$, entonces:

$$g_m = 3.000 \mu\text{mho} \left(1 - \frac{(-1\text{V})}{(-3\text{V})} \right) = 2.000 \mu\text{mho}$$

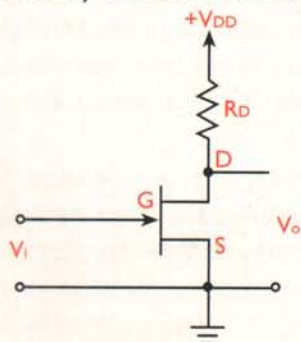
Configuraciones básicas de amplificadores con JFET

Al igual que con los transistores bipolares, son posibles tres configuraciones básicas de amplificadores con transistores JFET, representadas en la **figura 8.65**, llamadas fuente común (CS: *common source*), compuerta común (CG: *common gate*) y drenador común (CD: *common drain*), análogas, en su orden, a las estructuras emisor común, base común y colector común, y con propiedades simi-

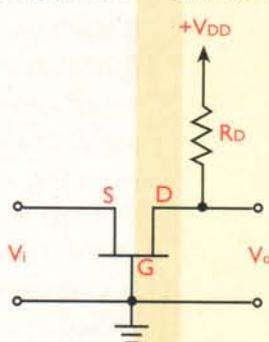
lares. La configuración drenador común se denomina también **seguidora de fuente** (*follower source*) y es una de las más empleadas. Los amplificadores de compuerta común son poco empleados, excepto en tareas de muy alta frecuencia, debido a que presentan una muy baja impedancia de entrada. Por esta razón, en esta lección no los examinaremos en detalle.

En un **amplificador de fuente común**, **figura 8.65a**, la señal de entrada (V_i) se aplica en la compuerta (G), mientras que la señal de salida (V_o) se obtiene en el drenador (D). El surtidor o fuente (S) está conectado dinámicamente a tierra. Esta configuración produce inversión de fase, así como una moderada ganancia de voltaje, inferior a la de un amplificador en emisor común. También posee una alta impedancia de entrada y produce una distorsión baja para señales pequeñas, pero alta para señales grandes. Este último fenómeno se denomina **distorsión de ley cuadrática** y, aunque es indeseable en un amplificador, se aprovecha con ventaja en unos circuitos llamados **mezcladores de frecuencia**, muy utilizados en equipos de comunicaciones.

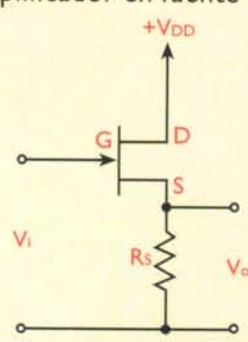
En un **amplificador de compuerta común**, **figura 8.65b**, la señal de entrada (V_i) se aplica en el surtidor (S), mientras que la señal de salida (V_o) se obtiene en el drenador (D). La compuerta (G) está conectada dinámicamente a tierra. Esta configuración no produce inversión de fase y proporciona una ganancia de voltaje similar a la de un amplificador en fuente común.



(a) Amplificador de fuente común



(b) Amplificador de compuerta común



(c) Amplificador de drenador común (seguidor de fuente)

Figura 8.65. Configuraciones básicas de amplificadores con JFET

No obstante, su impedancia de entrada es muy baja, aunque mayor que la de un amplificador en base común. Debido a esta última característica, los amplificadores en compuerta común son raramente utilizados.

Finalmente, en un **amplificador de drenador común, figura 8.65c**, la señal de entrada (V_i) se aplica en la compuerta (G), mientras que la señal de salida (V_o) se obtiene en el surtidor. El drenador (D) está conectado dinámicamente a tierra. Esta configuración no produce inversión de fase ni ganancia de voltaje. Sin embargo, proporciona una muy alta impedancia de entrada, superior a la de un amplificador de fuente común, y una baja impedancia de salida.

Debido a que el voltaje de salida es prácticamente el mismo voltaje de entrada, pero con una mayor capacidad de corriente, este circuito se denomina también un **seguidor de fuente**. Se utiliza principalmente como adaptador de impedancias y como etapa de entrada en osciloscopios y otro tipo de instrumentos.

La estructura completa de un **amplificador de fuente común** básico, incluyendo el circuito de polarización, se muestra en la **figura 8.66**. En este caso, al aplicar una señal pequeña en la compuerta (v_i), se producen variaciones en el voltaje compuerta-surtidor (v_{gs}), las cuales, a su vez, provocan variaciones en la corriente de drenador (i_d). Puesto que esta última corriente circula a la tra-

vés de R_D , en la salida (v_o) se produce un voltaje de señal amplificado, opuesto en fase con respecto al voltaje de señal de entrada, como sucedía en un amplificador de emisor común. La ganancia de voltaje (A_v), sin carga, de esta configuración está dada por la siguiente fórmula, la cual se demuestra más adelante:

$$A_v = (-g_m)(R_D)$$

siendo g_m (en mhos o siemens, S) la transconductancia del JFET y R_D (en ohmios, Ω) el valor de la resistencia de drenador. El signo menos (-) indica simplemente inversión de fase. Por ejemplo, si $g_m = 2.500 \mu\text{mho}$ y $R_D = 4,7 \text{k}\Omega$, entonces el valor neto de la ganancia de voltaje (sin signo) es:

$$A_v = 2.500 \mu\text{mho} \times 4,7 \text{k}\Omega = 11,75 \text{ (21 dB)}$$

Recuerde que la transconductancia varía dependiendo de la tensión de polarización de compuerta (V_{GS}), y, por tanto, de la corriente de polarización del drenador.

La estructura completa de un **amplificador de drenador común (seguidor de fuente)** básico, incluyendo el circuito de polarización, se muestra en la **figura 8.67**. Nuevamente, al aplicar una señal pequeña en la compuerta (v_i), se producen variaciones en el voltaje compuerta-surtidor (v_{gs}), las cuales, a su vez, provocan variaciones en la corriente de drenador (i_d). Esta corriente, al circular a través de R_s , produce en la salida (v_o) un voltaje de señal aproximadamente igual al de entrada y con la misma fase, igual como sucedía en un amplificador de colector común o seguidor de emisor.

La ganancia de voltaje (A_v), sin carga, de esta configuración está dada por la siguiente fórmula, cuya demostración se deja como ejercicio para el lector:

$$A_v = \frac{R_s}{R_s + 1/g_m}$$

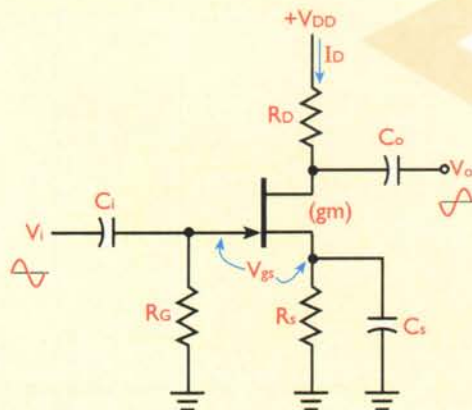


Figura 8.66. Amplificador fuente común completo

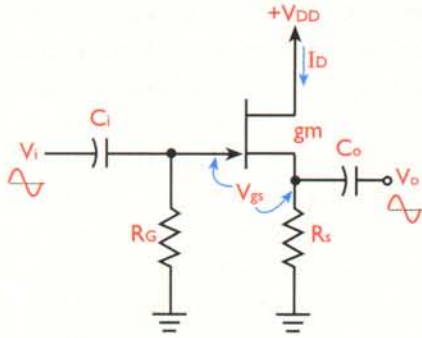


Figura 8.67. Amplificador seguidor de fuente completa

siendo g_m (en mhos o siemens, S) la transconductancia del JFET y R_s (en ohmios, Ω) el valor de la resistencia de surtidor o fuente. Por ejemplo, si $g_m = 2.500 \mu\text{mho}$ (2,5mS) y $R_D = 1\text{k}\Omega$, entonces el valor neto de la ganancia de voltaje es:

$$A_v = \frac{1\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega + \frac{1}{2,5}\text{mS}} = 0,71 \text{ (-2,9dB)}$$

Por tanto, la ganancia de voltaje es inferior a 1 (0dB), como era de esperar. La impedancia de salida (Z_o), vista por la carga externa conectada al surtidor, está dada por:

$$Z_o = R_s \parallel (1/g_m)$$

siendo R_s (Ω) la resistencia de surtidor y g_m (mho o S) la transconductancia. Recuerde que el símbolo \parallel significa "en paralelo con". En nuestro caso, con $g_m = 2,5\text{mS}$ y $R_s = 1\text{k}\Omega$, tendríamos:

$$\frac{1}{g_m} = \frac{1}{2,5\text{mS}} = 400\Omega$$

$$Z_o = 1\text{k}\Omega \parallel 400\Omega = 286\Omega$$

Por tanto, la impedancia de salida de un seguidor de fuente es relativamente baja, aunque no tan baja como la de un seguidor de emisor.

Análisis de amplificadores de baja señal con JFET

Los amplificadores de baja señal con transistores JFET se analizan con los mismos métodos

generales empleados para los amplificadores con transistores bipolares. Para ilustrar esta semejanza, y derivar algunas conclusiones generales relativas al comportamiento de los JFET como amplificadores, consideremos un JFET y un BJT operando con una corriente de polarización (I_D o I_C) de 1 mA, como se muestra en la figura 8.68. En ambos casos se utiliza una resistencia de carga (R_D o R_C) de $5\text{k}\Omega$, una tensión de alimentación (V_{DD} o V_{CC}) de +10V y una tensión de polarización de salida (V_{CQ} o V_{DQ}) de +5V. El JFET está conectado en el modo fuente común y el BJT en el modo emisor común. Centraremos nuestra atención en la estimación de la ganancia de voltaje (A_v) y la impedancia de salida (Z_o), ignorando los detalles de la polarización.

La ganancia de voltaje (A_v) del amplificador con BJT, como sabemos, es igual a la relación entre la

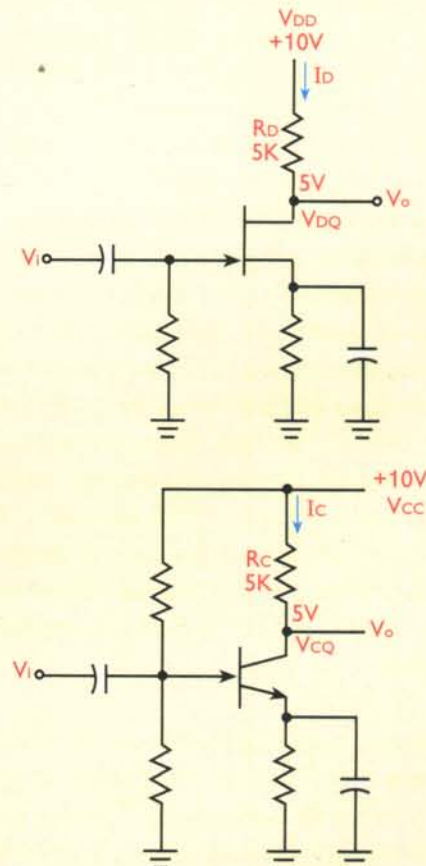


Figura 8.68. Análisis comparativo de un amplificador con JFET y un amplificador con BJT

resistencia de colector (R_C) y la resistencia dinámica de emisor (r'_e). Esto es:

$$A_{V(BJT)} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{be}} = \frac{R_C}{r'_e}$$

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_C} = \frac{25\text{mV}}{1\text{mA}} = 25\Omega$$

$$A_{V(BJT)} = \frac{5\text{k}\Omega}{25\Omega} = 200 \text{ (46dB)}$$

siendo $v_i = v_{be}$ el voltaje de señal de entrada. En el caso del FET, la ganancia depende de la transconductancia (g_m). Típicamente, esta última es del orden de $2.000\mu\text{mho}$ (o 2mS) para una I_D de 1mA . Por tanto:

$$A_{V(FET)} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{gs}}$$

$$v_o = (i_d)(R_D)$$

$$i_d = (v_{gs})(g_m)$$

$$A_{V(FET)} = \frac{(i_d)(R_D)}{v_{gs}} = \frac{(v_{gs})(g_m)(R_D)}{v_{gs}}$$

$$A_{V(FET)} = (g_m)(R_D) = 2\text{mS} \times 5\text{k}\Omega = 10 \text{ (20dB)}$$

Por tanto, un amplificador con JFET proporciona inherentemente una ganancia de voltaje mucho más baja que un amplificador con BJT. Aunque esta baja ganancia puede ser mejorada utilizando un esquema de polarización con fuente de corriente, de todas formas siempre será inferior a la de un transistor bipolar. Por esta razón, para tareas generales de amplificación, los transistores bipolares son más utilizados que los JFET, excepto cuando es importante sacrificar la ganancia a cambio de una muy alta impedancia y una baja demanda de corriente de señal, donde los JFET son ampliamente superiores.

Con respecto a la impedancia de salida (Z_o), en ambos casos esta última es prácticamente igual al valor de R_C o R_D , en nuestro caso $5\text{k}\Omega$. Sin embargo, en una configuración seguidora, la impedancia de salida proporcionada por un JFET con una fuente de señal de alta impedancia (por encima de $50\text{k}\Omega$)

es muy inferior a la proporcionada por un BJT. Este último se comporta mejor con fuentes de señal de baja impedancia (por debajo de $5\text{k}\Omega$).

Circuitos prácticos de amplificadores de baja señal con JFET

A continuación se presentan algunos ejemplos de circuitos amplificadores prácticos de baja señal con transistores JFET. Todos ellos están basados en las configuraciones drenador común o fuente común examinadas anteriormente, y, algunos de ellos ilustran el uso de técnicas de diseño especiales para aumentar la impedancia de entrada, mejorar la estabilidad del punto de trabajo, y otros propósitos.

Todos los circuitos mostrados utilizan el clásico JFET **2N3819**, de canal N, como elemento activo. Se pueden utilizar transistores JFET de otras referencias, como el **2N5484**, siempre y cuando sus características eléctricas sean similares a las del **2N3819**. Las siguientes son algunas de las especificaciones máximas más importantes de este último dispositivo:

Voltaje de ruptura compuerta fuente ($V(BR)_{GSS}$): -40V

Corriente máxima de drenador (I_{DSS}): 20mA

Transconductancia (g_{fs}): $7.000\mu\text{mho}$ (7mS)

Corriente inversa de fuga de la compuerta (I_{GSS}): -100pA

Voltaje de corte de compuerta ($V_{GS(OFF)}$): -6V

En la **figura 8.69** se muestra un sencillo amplificador seguidor de fuente que utiliza un esquema de autopolarización. La resistencia de fuente (R_s) está representada por la combinación en serie de R_1 , R_2 y R_4 (variable). Esta última se utiliza para establecer el voltaje de polarización de la compuerta (V_{GS}), y, por tanto, para fijar la corriente de polarización del drenador (I_D) en 1mA . Para ello, R_4 debe ser ajustada de modo que, en condiciones de reposo, la caída de voltaje sobre R_2 sea de $5,6\text{V}$. Bajo estas condiciones la ganancia de voltaje esperada es aproximadamente $0,95$. Con los valores de componentes indicados, la impedancia de entrada



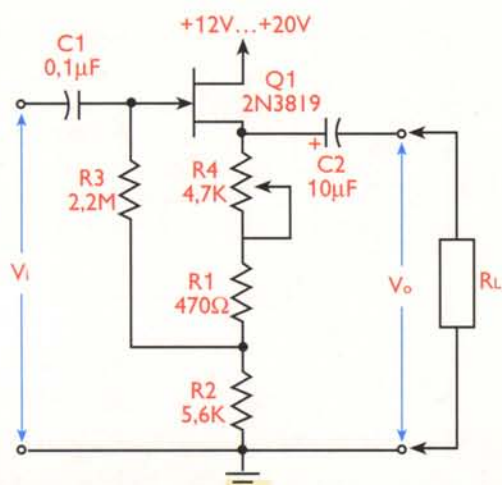


Figura 8.69. Amplificador seguidor de fuente práctico y autopolarizado

(Z_i) en bajas frecuencias es del orden de $10\text{M}\Omega$, pero cae a $1\text{M}\Omega$ alrededor de los 15kHz , y a $100\text{k}\Omega$ por los lados de 160kHz .

La resistencia R_2 introduce un efecto de realimentación negativa que incrementa efectivamente la impedancia de entrada vista por la fuente de señal. Este efecto se conoce en la terminología de circuitos electrónicos como *bootstrapping* (literalmente "levantar por los pies", sin equivalente en español). Debido al *bootstrapping* introducido por R_2 , la resistencia R_3 , que determina la impedancia de entrada de la etapa, aparece ante la fuente de señal como si fuera unas cinco veces más grande. Por esta razón, la impedancia de entrada efectiva no es $2,2\text{M}\Omega$, sino más de $10\text{M}\Omega$.

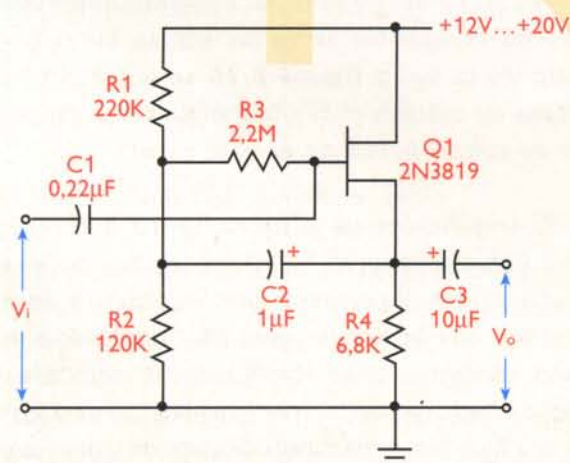


Figura 8.70. Amplificador seguidor de fuente práctico con polarización de offset

En la figura 8.70 se muestra otra versión de un amplificador seguidor de fuente, pero utilizando un esquema de polarización por voltaje de referencia (*offset*). En este caso no se necesita resistencia de ajuste para fijar la corriente de drenador (I_D). La ganancia de voltaje es aproximadamente de 0,95. El condensador C_2 introduce un efecto de *bootstrapping*, multiplicando el valor efectivo de la resistencia de compuerta (R_3) por un factor de 20. De este modo, la fuente de señal observa una impedancia de entrada (Z_i) del orden de $44\text{M}\Omega$. Sin C_2 , esta impedancia es igual al valor nominal de R_3 ($2,2\text{M}\Omega$). Se pueden obtener valores mayores de Z_i incrementando el valor de R_3 hasta un máximo de $10\text{M}\Omega$, e incluso, utilizando una fuente de corriente para polarizar el JFET.

En la figura 8.71 se muestra el esquema de un sencillo amplificador de fuente común con autopolarización, el cual proporciona una ganancia de voltaje del orden de 21dB, equivalente a un factor de amplificación de 12; y una respuesta de frecuencia plana entre 15Hz y 250kHz. Para operación con baja señal, el potenciómetro R_4 debe ser ajustado de modo que

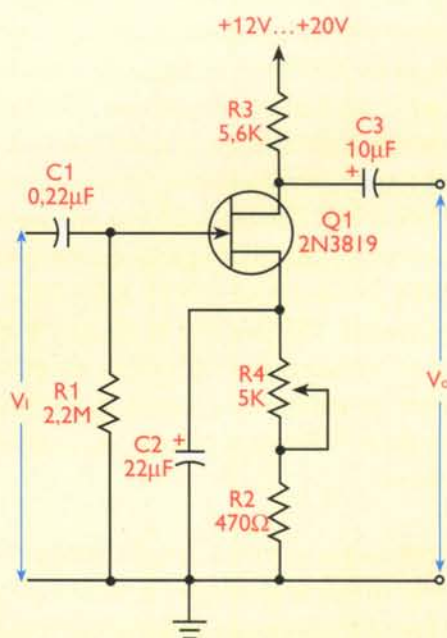


Figura 8.71. Amplificador de fuente común práctico con autopolarización

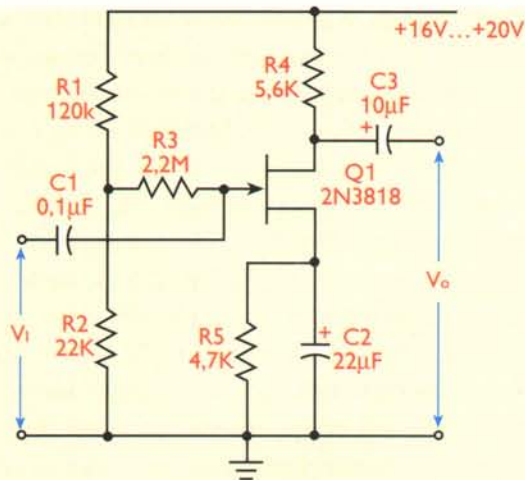


Figura 8.72. Amplificador práctico de fuente común, con polarización por voltaje de referencia (offset)

sobre R_3 se produzca una caída de voltaje de 5,6V. De este modo, la corriente de polarización de drenador es del orden de 1mA. R_4 puede ser ajustado también para que el circuito procese, con mínima distorsión, señales fuertes, capaces de provocar grandes excursiones o variaciones en el voltaje de salida.

Si se requiere de una alta exactitud en las condiciones de polarización, la mejor alternativa es utilizar un amplificador con polarización de referencia (offset) o por fuente de corriente. En las **figuras 8.72**, por ejemplo, se muestra un amplificador de fuente común con polarización de referencia (offset) para la compuerta. El circuito debe ser alimentado con una tensión positiva de 16V a 20V. El mismo ofrece una ganancia de voltaje de 21dB, una impedancia de entrada de 2,2M Ω y un ancho de banda útil (-3dB) desde 15 Hz hasta 250kHz. En la **figura 8.73** se muestra un amplificador de fuente común con características similares, excepto que utiliza un esquema de polarización basado en una fuente de corriente.

Amplificadores multietapa

En muchos casos, la ganancia de voltaje proporcionada por una sola etapa amplificadora es insuficiente. Esta circunstancia obliga a utilizar dos o más etapas **en cascada**, es decir, conectadas una

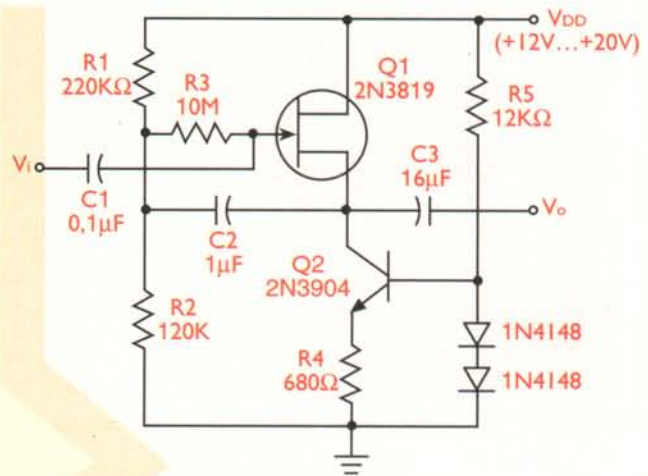


Figura 8.73. Amplificador práctico de fuente común, con polarización por fuente de corriente

a continuación de otra. Este tipo de configuraciones se denominan **amplificadores multietapa** o de múltiples etapas. La idea básica de un amplificador multietapa es utilizar la señal de salida amplificada de una etapa como la señal de entrada de la etapa siguiente, y así sucesivamente. De esta forma, la señal final de salida es mucho mayor que la señal original de entrada y tiene una ganancia muy alta que sería difícil o imposible de conseguir con una sola etapa.

En las **figuras 8.74** hasta la **8.76** se presentan algunos ejemplos de amplificadores multietapa sencillos con transistores bipolares. El montaje de la **figura 8.74**, en particular, combina transistores NPN y PNP para proporcionar una interfaz compatible entre las etapas. En el circuito de la **figura 8.75** se acoplan tres etapas en cascada para obtener una alta ganancia de voltaje (≈ 100 dB, en este caso).

El amplificador de la **figura 8.76** emplea dos transistores NPN conectados en una configuración denominada **par Darlington**. Este montaje, que se examina más adelante junto con otras configuraciones amplificadoras especiales, proporciona una excelente ganancia de corriente, una muy alta impedancia de entrada y una muy baja impedancia de salida. La ganancia de voltaje, sin embargo, es inferior a la unidad. La ganancia

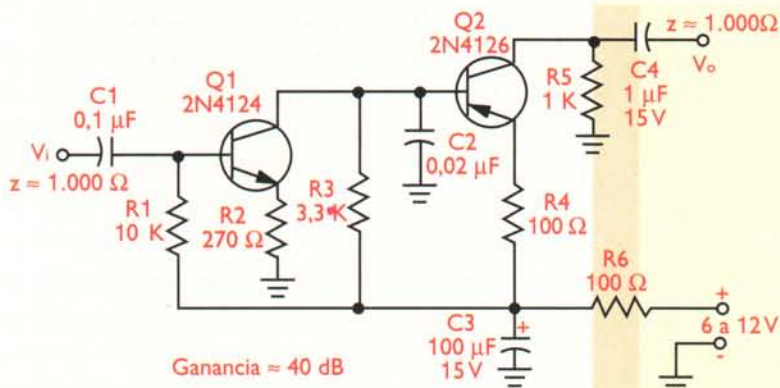


Figura 8.74. Amplificador de dos etapas con una ganancia de 40dB

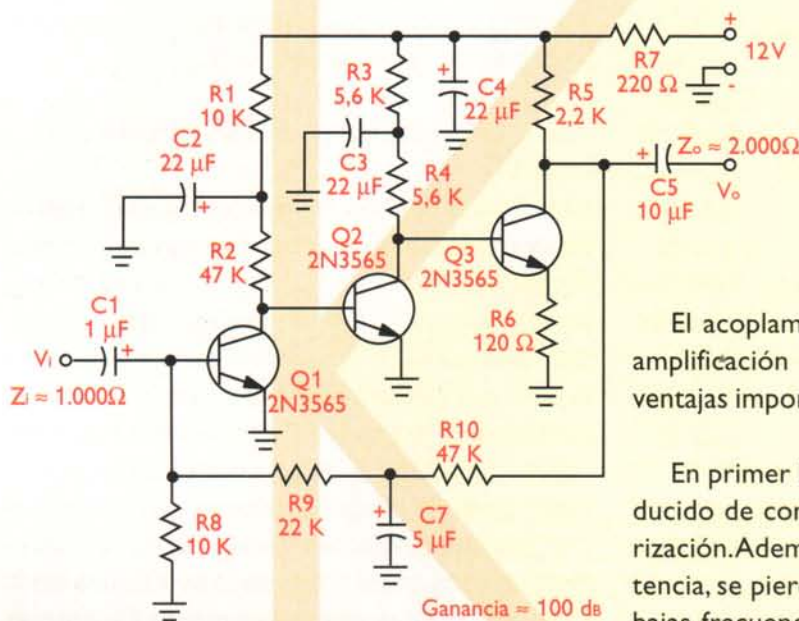


Figura 8.75. Amplificador de tres etapas con una ganancia de 100dB

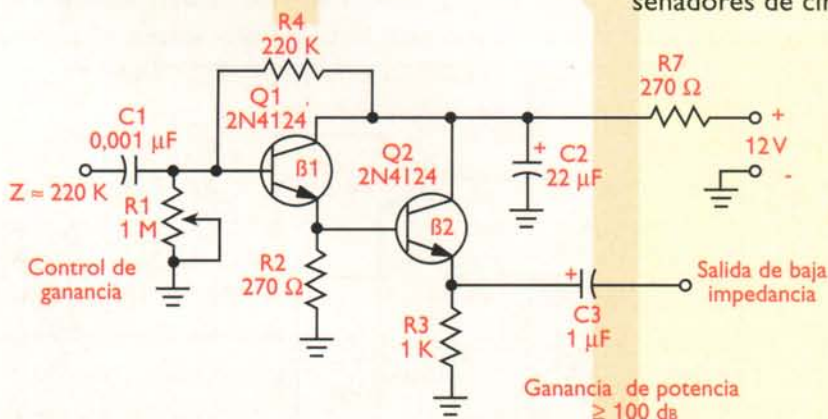


Figura 8.76. Amplificador de dos etapas tipo darlington con una ganancia mayor de 100 dB.

de corriente total es aproximadamente el producto de las ganancias de corriente individuales de los transistores. Esto es:

$$\beta = \beta_1 \times \beta_2$$

Los tres circuitos anteriores tienen en común el hecho que las etapas individuales están acopladas entre sí directamente, compartiendo sus niveles de polarización. Esto es típico en amplificadores de baja frecuencia como los utilizados en sistemas de audio. Por ejemplo, en la mayor parte de los circuitos integrados amplificadores de audio, las etapas internas están siempre acopladas directamente.

El acoplamiento directo entre etapas para la amplificación de señales de audio ofrece varias ventajas importantes.

En primer lugar, se requiere de un número reducido de componentes para estabilizar la polarización. Además, se disminuye el consumo de potencia, se pierde menos señal y no se atenúan las bajas frecuencias. Tampoco hay cambios de fase. Por otro lado, la existencia de transistores complementarios (NPN y PNP) proporciona a los diseñadores de circuitos una gran flexibilidad.

Por éstas y otras razones, los circuitos integrados utilizan acoplamiento directo entre etapas debido a que los altos valores requeridos para los condensadores de acoplamiento exigen una gran área de pastilla, lo cual es impráctico.

El acoplamiento entre etapas puede también efectuarse mediante circuitos RC (resistencia-condensador), o a través de trans-

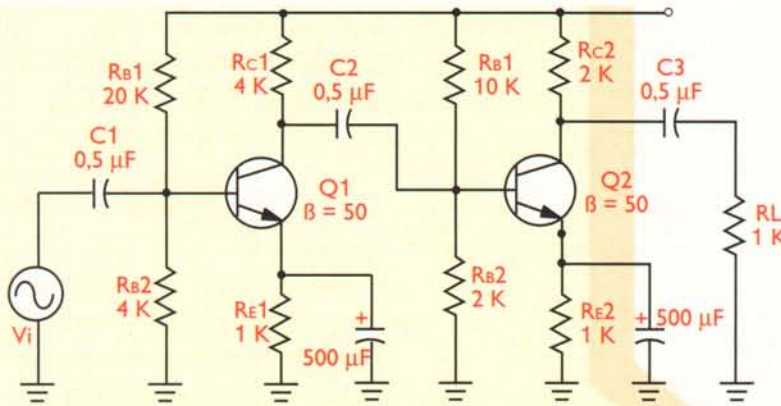


Figura 8.77 Amplificador multietapa práctico con acoplamiento por redes RC

formadores, como se ilustra en las figuras 8.77 y 8.78. Estos métodos se utilizan, principalmente, en altas frecuencias. En el primer caso, las dos etapas están conectadas entre sí a través de C2 que actúa como condensador de acoplamiento.

Utilizando este método, los niveles de polarización de la primera etapa (Q1) quedan aislados de los de la segunda (Q2). La polarización de base de esta última la proporcionan RB1 y RB2. Estas resistencias, junto con C2 y la impedancia de entrada vista en la base de Q2, forman un filtro pasabajos, permitiendo el paso de la señal de CA proporcionada por la primera etapa, pero bloqueando el nivel de polarización (CC) de la misma.

En el segundo caso, figura 8.78, las dos etapas están aisladas mediante un transformador (T1). La polarización de la segunda etapa se hace

a través de las resistencias RB1 y RB2. La ventaja de este método es que la relación de transformación de T1 (5 a 1, en este caso) puede ser utilizada para controlar la ganancia de voltaje. También permite obtener una respuesta de frecuencia selectiva, es decir, proveer amplificación solamente para frecuencias de señal comprendidas dentro de una determinada banda. Esta técnica de amplificación selectiva de frecuencias, mediante transfor-

madores sintonizados, es ampliamente utilizada en tareas de radiofrecuencia (RF).

Análisis de un amplificador de dos etapas

En la figura 8.79 se muestra el circuito práctico de un amplificador de dos etapas con acoplamiento por condensador (C2). Ambas etapas utilizan polarización por divisor de tensión y están conectadas en la configuración emisor común. La corriente de la señal de salida de la primera etapa, disponible en el colector de Q1, se divide entre las resistencias RC1, R3 y R4, las cuales están conectadas en paralelo desde el punto de vista dinámico. Esto permite reducir la segunda etapa a un circuito equivalente, como el mostrado en la figura 8.80. Bajo estas condiciones, la impedancia de entrada de la segunda etapa es simplemente:

$$Zi2 = R3 \parallel R4 \parallel r'b$$

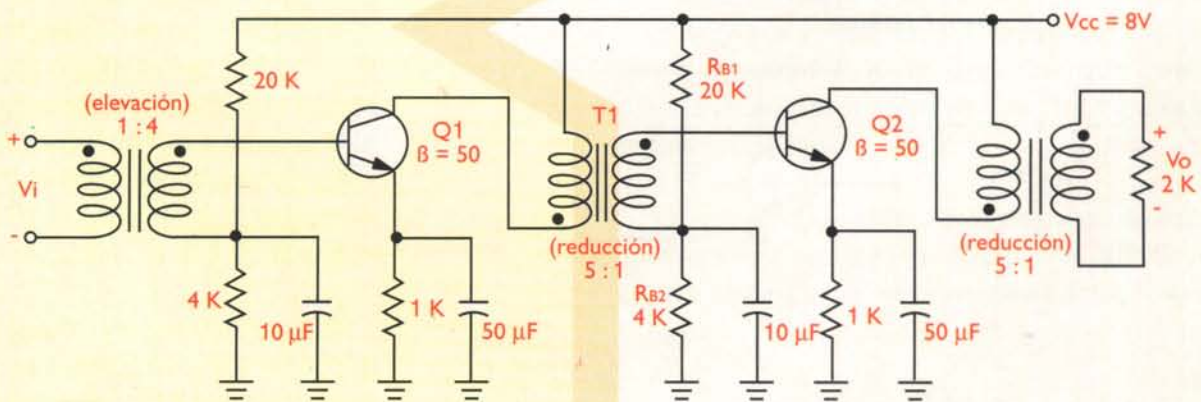


Figura 8.78. Amplificador multietapa práctico con acoplamiento por transformador

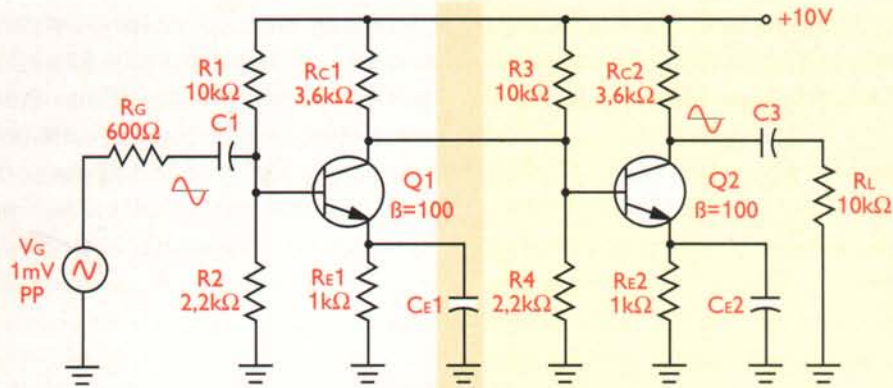


Figura 7.79. Amplificador de dos etapas práctico

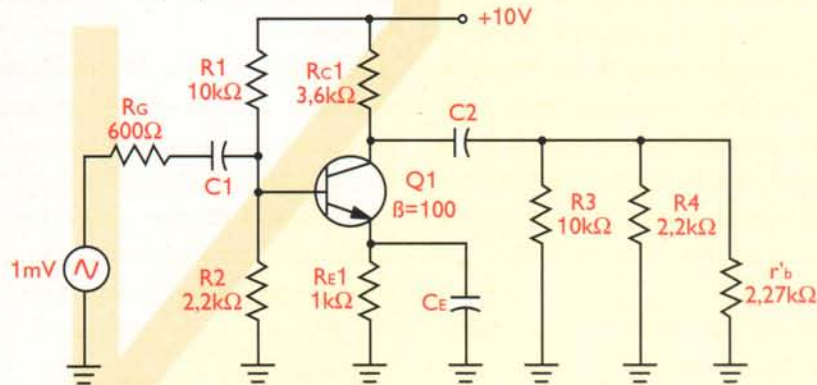


Figura 7.80. Circuito equivalente del amplificador de dos etapas

siendo r'_b la resistencia dinámica de la unión base-emisor (BE) de Q2 vista desde la base. Esta resistencia, como sabemos, es igual a β veces r'_e . Por tanto, asumiendo $\beta=100$ y $r'_e=22,7\Omega$ (calculada), tenemos:

$$r'_b = \beta r'_e = 100 \times 22,7\Omega = 2,27k\Omega$$

$$Z_{i2} = 10k\Omega \parallel 2,2k\Omega \parallel 2,27k\Omega = 1k\Omega$$

Ésta sería la impedancia de entrada de la segunda etapa, numéricamente igual a la impedancia de entrada de la primera etapa, ya que ambas utilizan los mismos valores de componentes. La primera etapa se analiza en la forma usual, considerando que tiene una resistencia de carga (R_{L1}) igual a la impedancia de entrada de la segunda etapa ($Z_{i2}=1k\Omega$). Bajo estas condiciones, la ganancia de voltaje de la primera etapa (A_{v1}) es:

$$A_{v1} = \frac{r_{c1}}{r'_e}$$

siendo r_{c1} la resistencia equivalente de colector de la primera etapa, igual al paralelo de R_{C1} ($3,6k\Omega$) y Z_{i2} ($1k\Omega$). Por tanto:

$$r_{c1} = R_{C1} \parallel Z_{i2} = 3,6k\Omega \parallel 1k\Omega = 783\Omega$$

$$A_{v1} = \frac{783\Omega}{22,7\Omega} = 34,5 \text{ (21,5dB)}$$

La ganancia de voltaje de la segunda etapa (A_{v2}) es, simplemente:

$$A_{v2} = \frac{r_{c2}}{r'_e}$$

siendo r_{c2} la resistencia equivalente de colector de la segunda etapa, igual al paralelo de R_{C2} ($3,6k\Omega$) y la resistencia de carga R_L ($10k\Omega$). Por tanto:

$$r_{c2} = R_{C2} \parallel R_L = 3,6k\Omega \parallel 10k\Omega = 2,65k\Omega$$

$$A_{v2} = \frac{2,65k\Omega}{22,7\Omega} = 117$$

La ganancia de voltaje total del amplificador (A_{VT}), es simplemente el producto de las ganancias de voltaje individuales de cada etapa. Por tanto:

$$A_{VT} = A_{V1} \times A_{V2} = 34,5 \times 117 = 4.037 \text{ (72dB)}$$

De este modo, si la señal entregada por el generador tiene una amplitud de 1mVpp, en la base de Q1 se obtiene una señal de 0,625mVpp, en el colector de Q1 una señal amplificada de 21,6 mV y en el colector de Q2 una señal amplificada de 2,53mV, ¿por qué?. El mismo análisis se aplica a cualquier amplificador multietapa. La clave está en determinar la impedancia de entrada de cada etapa y considerarla como la resistencia de carga de la etapa precedente. Hecho esto, se calcula la ganancia de cada etapa y luego la ganancia total del amplificador, que es simplemente el producto de las ganancias individuales. ¿Sencillo, verdad?.

Amplificadores de potencia con transistores

Todos los amplificadores que hemos estudiado hasta el momento son básicamente **amplificadores de voltaje** que trabajan en clase A, reciben señales de entrada pequeñas y producen señales de salida, libres de distorsión, que son réplicas ampliadas de las señales de entrada. Adicionalmente, este tipo de amplificadores necesitan una corriente de reposo, la cual debe ser, por lo menos, tan grande como la máxima corriente de salida esperada durante los picos de la forma de onda. Esto causa pérdidas de potencia que pueden llegar a ser varias veces mayores que la potencia consumida por la carga. Por tanto, este tipo de circuitos son ineficientes desde el punto de vista de conversión de potencia.

Los **amplificadores de potencia**, por su parte, son circuitos que combinan las características de un amplificador de voltaje con la capacidad de suministrar grandes cantidades de potencia eléctrica. Los mismos operan con señales grandes y se caracterizan por presentar diversos grados de distorsión en la forma de onda de la señal de salida.

Esto es, en un amplificador de potencia la forma de onda de la señal de salida no es una réplica fiel de la forma de onda de la señal de entrada. Además, debido a que trabajan generalmente en clase B, requieren muy poca o ninguna corriente de reposo, lo cual implica que prácticamente no hay consumo de potencia en ausencia de señal. Por tanto, son más eficientes que los amplificadores en clase A.

Características y especificaciones de los amplificadores de potencia

Los amplificadores de potencia se caracterizan mediante varios parámetros, siendo los más importantes: la ganancia de potencia, el rendimiento, la impedancia de entrada y la impedancia de salida. La **ganancia de potencia (A_p)** es simplemente la relación entre la potencia de salida (P_o) y la potencia de entrada (P_i). Esto es:

$$A_p = \frac{P_o}{P_i}$$

Por ejemplo, si $P_i = 50\mu\text{W}$ y $P_o = 40\text{mW}$, entonces:

$$A_p = \frac{40\text{mW}}{50\mu\text{W}} = 800$$

El **rendimiento**, que se designa generalmente como η (léase «eta»), es una medida de la forma como un amplificador utiliza la potencia proveniente de la fuente de alimentación para producir potencia útil en la carga. Se expresa como un porcentaje así:

$$\eta(\%) = \frac{P_L}{P_S} \times 100$$

siendo P_L la potencia aprovechada por la carga y P_S la potencia entregada por la fuente. Idealmente, un amplificador debería tener un rendimiento del 100%, es decir, toda la potencia entregada por la fuente debería ser aprovechada por la carga. En la práctica esto nunca sucede debido a que se presentan pérdidas de potencia en los transistores,

las resistencias, los conductores, y en otros elementos. Los amplificadores de potencia clase A ofrecen un bajo rendimiento, típicamente del orden del 5% (25% en el mejor de los casos). Los amplificadores clase B, por su parte, que son los más utilizados, proporcionan rendimientos superiores al 75%.

Las impedancias de entrada y de salida son importantes para conseguir la máxima transferencia de potencia desde la fuente de señal hasta carga. Para lograr este objetivo, un amplificador de potencia debe tener, idealmente, una impedancia de entrada (Z_i) igual a la de la fuente de señal (R_s); así como una impedancia de salida (Z_o) igual a la de la carga (R_L). Por ejemplo, un amplificador de potencia destinado a impulsar un parlante de 8Ω desde una fuente de señal de 50Ω , debe tener una impedancia de salida de 8Ω y una impedancia de entrada de 50Ω . De lo contrario, se producen pérdidas de potencia y se reduce el rendimiento, del sistema.

Operación de amplificadores de potencia en clase A

Un amplificador trabaja en clase A cuando la señal de entrada recibe una amplificación del 100%. En el caso de un amplificador con transistor, esto significa que por el colector circula corriente durante los 360° de cada ciclo de señal. En la **figura 8.81a** se muestra, como ejemplo, un amplificador clase A conectado en la configuración emisor común. Para comprender el funcionamiento del circuito con señales grandes deben considerarse dos rectas de carga, como se indica en la **figura 8.81b**: una para corriente continua y otra para señal. La diferencia entre ambas rectas la establece la resistencia de colector, la cual tiene un valor R_c ($3,6k\Omega$) para CC (polarización) y un valor $r_c = R_c \parallel R_L$ ($2,04k\Omega$) para CA (señal).

Observe que ambas rectas incluyen el punto Q. En nuestro caso, este último está ubicado en $I_{CQ} = 1,1\text{mA}$ y $V_{CEQ} = 4,94\text{V}$. Bajo esta condición, las excursiones o variaciones máximas que puede experimentar la señal de salida, alrededor del punto de reposo, son $4,94\text{V}$ ($=V_{CQ}$) hacia la izquierda, y

$2,24\text{V}$ ($=I_{CQ}r_c$) hacia la derecha. Tratándose de una onda seno simétrica, esto significa que la máxima amplitud que puede alcanzar la misma, sin sufrir distorsión, es del orden de $2,24\text{V}_p$ ($4,48\text{V}_{pp}$), como se observa en la **figura 8.81c**. Si la señal se incrementa con respecto a este valor, se produce un efecto de recorte, como se muestra en la **figura 8.81d**.

Es posible obtener una mayor excursión de la señal de salida aumentando la corriente de polarización de colector (I_{CQ}). Esto equivale a desplazar el punto de trabajo (Q) hacia la izquierda hasta que coincida con el punto medio de la recta de carga para señal, como se muestra en la **figura 8.81e**. Bajo esta condición, $V_{CEQ} = I_{CQ}r_c$, lo cual implica que la señal puede oscilar libremente, en ambas direcciones, alrededor del punto de trabajo, hasta alcan-

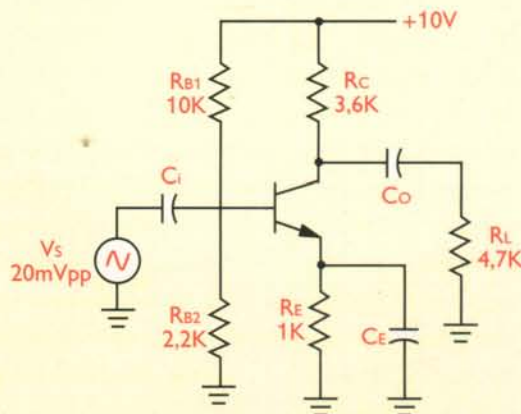


Figura 8.81a. Funcionamiento en clase A de un amplificador de potencia

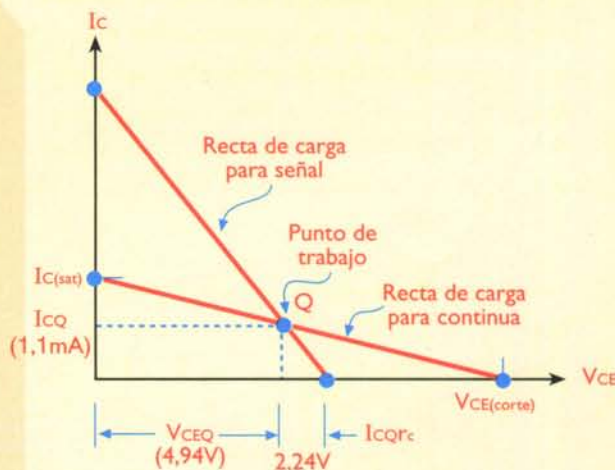


Figura 8.81b. Rectas de carga para señal y para corriente continua

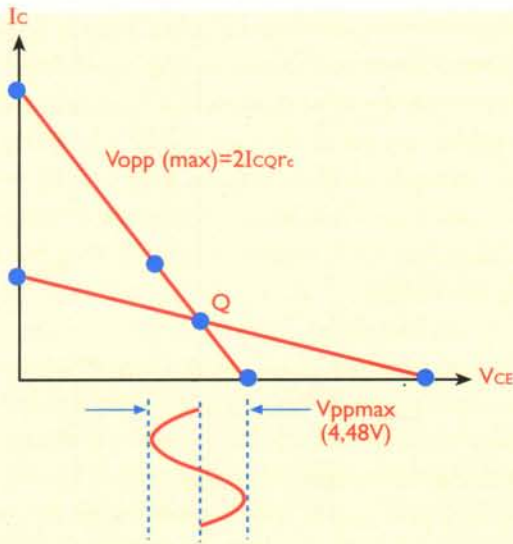


Figura 8.81c. Máxima señal pico a pico

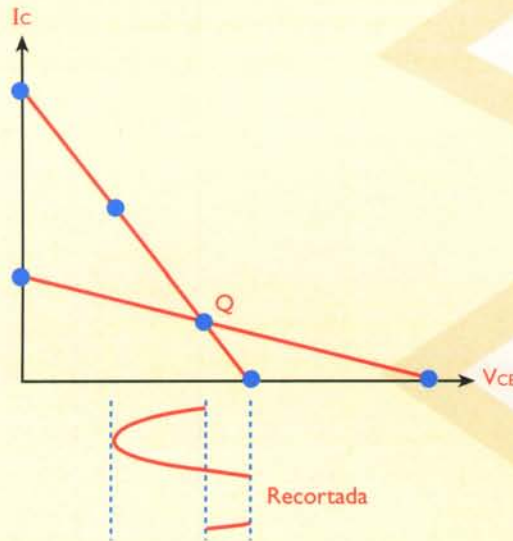


Figura 8.81d. Producción de recorte

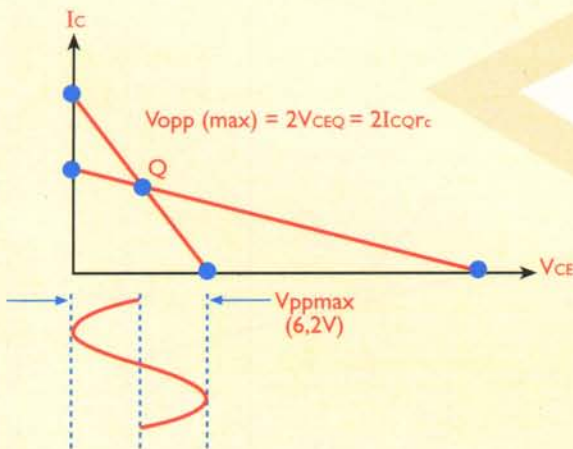


Figura 8.81e. Punto Q óptimo, para máxima excursión de señal

zar una amplitud máxima igual a V_{CEQ} (pico) ó $2V_{CEQ}$ (pico a pico). En la práctica, el punto Q óptimo se consigue variando la resistencia de emisor (R_E). El valor de R_E necesario para lograr este objetivo está dado por la siguiente fórmula:

$$R_E = \frac{R_C + r_c}{\frac{V_{CC}}{V_E} - 1}$$

En nuestro caso, $R_E(\text{óptima}) = 697\Omega$, pudiéndose utilizar una resistencia estándar de 680Ω . Bajo esta condición, el máximo valor pico a pico posible de la señal de salida (V_{oppmax}), antes de que se produzca distorsión por recorte, es del orden de $6,2V$. Un análisis de las nuevas condiciones de polarización para este circuito revela los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} V_{BQ} &= 1,8V \\ V_{EQ} &= 1,1V \\ I_{CQ} &= 1,61 \text{ mA} \\ V_{CQ} &= 4,2V \\ V_{CEQ} &= 3,1V \end{aligned}$$

De este modo, la potencia disipada en el transistor sin señal de entrada (P_D) es simplemente:

$$P_D = V_{CEQ} I_{CQ} = 3,1V \times 1,61 \text{ mA} = 4,99 \text{ mW}$$

Esta potencia representa un valor máximo, ya que la misma disminuye en presencia de señal. Asimismo, la potencia total entregada por la fuente de alimentación (P_s) es:

$$P_s = V_{CC} I_s$$

siendo I_s la corriente total consumida por el circuito. En nuestro caso, esta última es igual a la suma de la corriente de colector (I_{CQ}) con la corriente a través de las resistencias de polarización de base (R_{B1}, R_{B2}), que llamaremos I_1 . Esto es:

$$I_s = I_{CQ} + I_1$$

$$I_1 = \frac{V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}}$$



$$I_1 = \frac{10V}{12,2k\Omega} = 0,82mA$$

$$I_s = 1,61mA + 0,82mA = 2,43mA$$

$$P_s = 10V \times 2,43mA = 24,3mW$$

Por tanto, la potencia máxima entregada por la fuente de alimentación es del orden de 24,3mW. Esta potencia (P_s) debe ser comparada con la potencia que realmente aprovecha la carga (P_L) para evaluar el **rendimiento** del amplificador, mediante la fórmula

$$\eta(\%) = \frac{P_L}{P_s} \times 100$$

siendo P_s la potencia entregada por la fuente y P_L la potencia en la carga. Esta última está dada por

$$P_L = \frac{(V_{orms})^2}{R_L}$$

siendo V_{orms} el valor rms o efectivo de la señal de salida. En nuestro caso, para una señal de 6,2Vpp (3,1Vp), $V_{orms} = V_{op}/\sqrt{2} = 2,19V$. Por tanto:

$$P_L = \frac{(2,19V)^2}{4,7k\Omega}$$

$$P_L = 1,02mW$$

$$\eta = \frac{1,02mW}{24,3mW} \times 100$$

$$\eta = 4,2\%$$

Este resultado indica que nuestro amplificador tiene un rendimiento de apenas el 4,2%, lo cual significa que más del 95% de la potencia entregada por la fuente se pierde y no es aprovechada por la carga. Esta característica es típica de los amplificadores de potencia clase A, donde el rendimiento siempre es inferior al 25%. Su uso se justifica solamente cuando se requiere una alta fidelidad en la forma de onda de la señal de salida y el consumo de potencia no es un factor importante. En equipos operados por baterías esta situación puede

llegar a ser inaceptable. En las siguientes secciones examinaremos el funcionamiento en clase B, que emplea los transistores de manera más eficiente y permite obtener rendimientos superiores al 75%.

Operación de amplificadores de potencia en clase B

La mayor parte de los amplificadores de potencia con transistores operan en clase B. Como se recordará, un amplificador trabaja en clase B cuando solo recibe amplificación el 50% de la señal de entrada. Por tanto, la señal de salida está presente únicamente durante los semiciclos positivos o negativos de la señal de entrada. Además, no debe existir ningún tipo de corriente estática o de reposo a través del circuito si no está presente la señal de entrada.

En el caso de un amplificador con transistor bipolar, por ejemplo, lo anterior significa que la corriente de colector fluye solo durante 180° de cada ciclo de señal y no hay corriente de colector en ausencia de señal. Para que esto sea posible, el transistor debe ser polarizado de modo que su punto de trabajo (Q) coincida con el punto de corte. Esta situación se ilustra en la **figura 8.82**. De este modo se evita que el transistor esté disipando potencia en forma permanente, incluso si no está amplificando.

Idealmente, un amplificador de potencia en clase B debería tener una eficiencia del 100% y entregar una forma de onda de salida sin distorsión. En la práctica, la máxima eficiencia que puede pro-

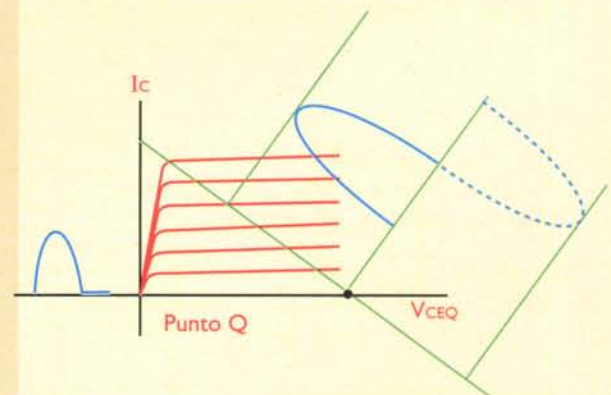


Figura 8.82. Operación en clase B de un transistor

porcionar un circuito de clase B es del orden del 78.5%. Asimismo, debido a que el transistor solo amplifica los semiciclos de la señal de entrada que lo polarizan directamente, se presenta necesariamente una distorsión en la forma de onda de salida. Afortunadamente, existen varias formas de conseguir al mismo tiempo una baja distorsión y una alta eficiencia. La más común es el uso de circuitos **en contrafase** o **push-pull**, también llamados **de simetría complementaria** o **cua-si-complementaria** debido a que están basados en el uso de transistores complementarios (NPN y PNP). A continuación los examinaremos en detalle.

Circuitos en contrafase o push-pull

Una buena aproximación a la alta eficiencia de conversión esperada en un amplificador clase B y la baja distorsión propia en un amplificador clase A, se consigue mediante el funcionamiento en contrafase o *push-pull*, en el cual se utilizan dos transistores, o grupos de transistores complementarios operando en clase B, cada uno encargado de manejar una mitad de la señal suministrada a la carga. En la **figura 8.83** se ilustra este concepto. En este caso, el transistor Q1 (NPN) conduce durante los semiciclos positivos, mientras que el transistor Q2 (PNP) lo hace durante los semiciclos negativos. Si no hay señal de entrada, ninguno de los transistores conduce, y, por tanto, no hay corriente de colector ni disipación de potencia en ellos.

Note que se aplica la misma señal de entrada a las bases de ambos transistores. Sin embargo,

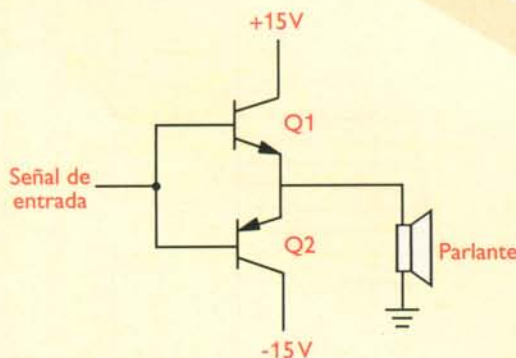


Figura 8.83. Circuito divisor de fase para amplificador push-pull

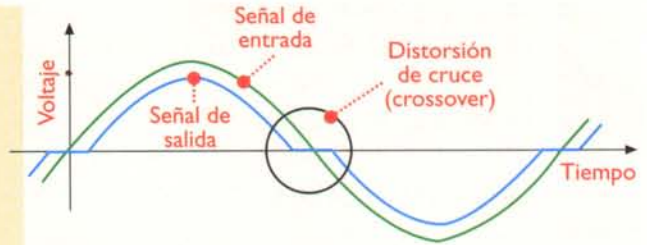


Figura 8.84. Distorsión de cruce típica de los circuitos de simetría complementaria

por ser complementarios, sólo uno está conduciendo en un momento dado. Observe además que se utiliza una fuente de alimentación simétrica o de doble polaridad. Aunque el circuito puede ser también alimentado con una fuente sencilla, el uso de una fuente doble permite obtener una mayor excursión del voltaje de salida y facilita el acople directo con la carga, representada en este caso por un parlante.

El circuito anterior, sin embargo, presenta un problema: produce en la señal de salida un tipo de distorsión, como la mostrada en la **figura 8.84**, denominada **distorsión de cruce** o *crossover*. Esta distorsión se debe a que, una vez la señal de entrada pasa por cero, es decir, se hace negativa o positiva, ninguno de los transistores conduce, y solo lo hacen cuando el nivel de la señal de entrada supera el potencia de barrera de la unión base emisor (V_{BE}), que es del orden de 0,6V. Por esta razón, para valores de señal de entrada entre +0,6V y -0,6V, la señal de salida vale esencialmente cero.

La distorsión de cruce es típica de los amplificadores clase B, pero puede ser minimizada, e incluso eliminada, proporcionando a ambos transistores una ligera polarización directa. Así, la señal de entrada oscilará realmente en torno a un nivel de polarización distinto de cero. Esto implica que los amplificadores clase B prácticos operan realmente en clase AB. Este modo de funcionamiento sacrifica ligeramente la eficiencia, lo cual se compensa con una mayor fidelidad. A continuación examinaremos algunas métodos comunes de proveer esta polarización.

Amplificadores de simetría complementaria con polarización por diodos

La forma más sencilla y efectiva de polarizar adecuadamente los transistores de salida de un circuito complementario es utilizando la **polarización por diodos**, representada en la **figura 8.85**. En este caso, las resistencias (R) polarizan directamente los diodos, manteniendo las bases de $Q1$ a un nivel de $0,6V$ por encima de la señal de entrada y la base de $Q2$ a un nivel de $0,6V$ por debajo de la misma. De este modo, a medida que la señal de entrada cruza por cero, la conducción se transfiere de $Q2$ a $Q1$, y viceversa. Por tanto, en todo momento, siempre está un transistor conduciendo.

Para que la polarización por diodos sea eficiente, el valor de las resistencias de polarización (R) debe ser escogido de modo que proporcionen suficiente corriente de base para los transistores de salida durante las excursiones máximas de la señal de salida. Además, los diodos deben escogerse de forma tal que sus curvas características se acoplen perfectamente al comportamiento de la unión BE de los transistores en un amplio rango de temperaturas. Esto último es muy difícil de conseguir en la práctica, excepto en diseños integrados, por lo que el circuito de la **figura 8.85** es térmicamente inestable.

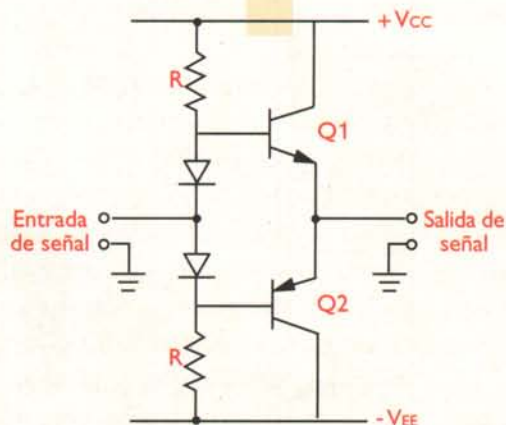


Figura 8.85. Amplificador de simetría complementaria con polarización por diodos

Incluso puede llegar a presentarse un fenómeno conocido como **avalancha térmica** (*thermal runaway*), caracterizado por el aumento progresivo de la temperatura en los transistores de salida hasta llegar a su destrucción. La avalancha térmica se debe a que el calentamiento inicial de los transistores causa la disminución de su voltaje V_{BE} , con lo cual comienza a fluir una mayor corriente de polarización de colector. Esta corriente, a su vez, calienta más el transistor, con lo cual sigue disminuyendo el voltaje V_{BE} , empeorándose paulatinamente la situación hasta culminar con la destrucción de los transistores. A continuación examinaremos algunos métodos para estabilizar la polarización de un circuito de simetría complementaria y para prevenir la avalancha térmica.

Amplificadores de simetría complementaria con estabilización térmica

Los circuitos de simetría complementaria, examinados hasta el momento, reciben su señal alterna de entrada a través de un condensador de acoplamiento. Una forma más conveniente de presentar esta señal es utilizando un excitador o *driver*, que es simplemente un transistor conectado en emisor común y acoplado directamente a la entrada del *push-pull*. Esta situación se ilustra en la **figura 8.86**. En este caso,

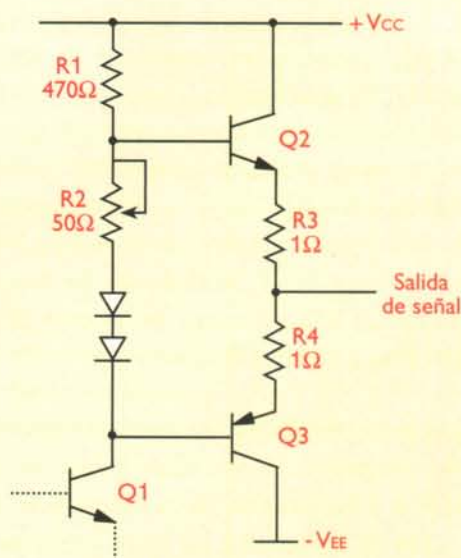


Figura 8.86. Seguidor *push-pull* con resistencias de emisor para mejorar la estabilidad térmica

el transistor Q1 actúa como *driver*, excitando las bases de Q2 y Q3, al mismo tiempo que fija la corriente continua de polarización de los diodos de compensación. Esta última corriente la regula R1, que opera también como resistencia de colector de Q1.

Las resistencias R3 y R4, que son típicamente del orden de los ohmios, o más pequeñas, mejoran la estabilidad térmica del circuito, actuando como «colchones» que amortiguan los efectos de la temperatura sobre la corriente de polarización de colector (I_C), y, por tanto, sobre la tensión base-emisor (V_{BE}). Observe que el voltaje entre las bases de los dos transistores de salida (Q2, Q3) es igual a $2V_{BE}$ más la caída en la resistencia ajustable R2. Por tanto, con unas pocas décimas de voltio a través de R3 y R4, cualquier variación del voltaje V_{BE} debida a la temperatura no causa que la corriente de colector aumente rápidamente, con lo cual se minimiza el riesgo de una avalancha térmica. La estabilidad se mejora aún más montando los diodos de compensación en contacto físico con los transistores de salida, o con sus respectivos disipadores de calor. La resistencia R2 puede ser reemplazada por un tercer diodo.

Podemos estimar la estabilidad térmica del circuito anterior recordando: (a) que el voltaje V_{BE} de los transistores de salida disminuye unos 2,1 mV por cada 1°C de aumento de la temperatura, y, (b) que la corriente de colector se incrementa por un factor de 10 con cada incremento de 60 mV del voltaje V_{BE} . De este modo, si reemplazamos R2 por un diodo (una práctica muy usual), tendríamos tres caídas V_{BE} entre las bases de Q2 y Q3, quedando disponible una caída V_{BE} (y no 0V, como antes) a través de la combinación en serie de R3 y R4. Estas últimas pueden ser seleccionadas de modo que proporcionen una corriente de reposo de colector apropiada, digamos 50 mA.

Bajo estas condiciones, asumiendo que los diodos de compensación no están acoplados térmicamente a los transistores de salida, que sería el peor caso de estabilidad, un incremento de 30°C en la temperatura de los transistores causaría una disminución de 63 mV en los voltajes V_{BE} de Q2 y

Q3, con lo cual, la caída de voltaje a través de R3 y R4, y por tanto, la corriente de reposo de salida, se incrementaría en un 20%. Sin resistencias de emisor, este incremento sería del orden del 1.000% (¡mil por ciento!). Basados en los resultados de este análisis, la mejora en la estabilidad térmica introducida por la presencia de las resistencias de emisor es evidente.

Una ventaja adicional de este esquema de polarización es que permite ajustar, mediante R2, la corriente de reposo a un valor adecuado, con lo cual se tiene algún control sobre la cantidad de distorsión de cruce (*crossover*) admisible, sin que se sacrifiquen excesivamente la fidelidad y el rendimiento del amplificador. Un amplificador *push-pull* polarizado de esta forma opera realmente como un amplificador en clase **AB**, lo cual implica que ambos transistores conducen simultáneamente durante una misma porción de cada ciclo de la señal de entrada.

En la **figura 8.87** se muestra un método alternativo para polarizar una etapa de potencia *push-pull* con el fin de conseguir al mismo tiempo una baja distorsión de cruce y una buena estabilidad térmica.

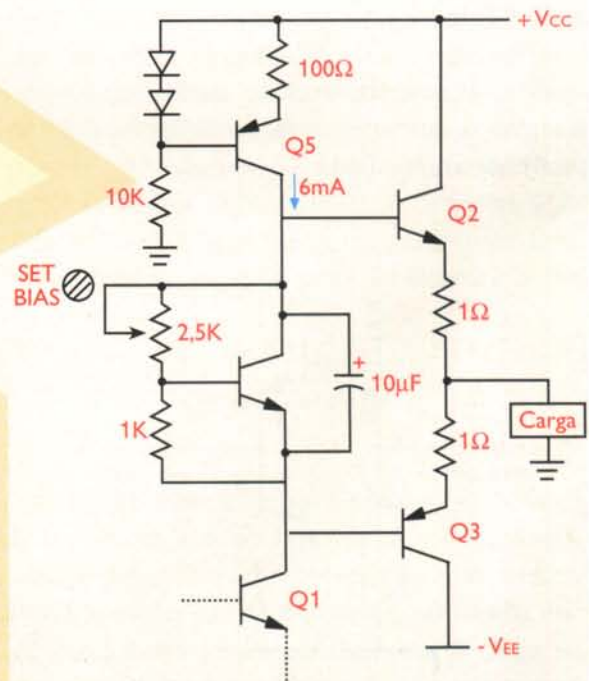


Figura 8.87 Etapa *push-pull* polarizada para baja distorsión de *crossover* y buena estabilidad térmica

En este caso, el transistor Q4 actúa como un diodo ajustable, manteniendo un voltaje constante entre colector y emisor, e imponiendo un voltaje V_{BE} entre base y emisor (V_{BE}). El voltaje V_{CE} requerido para que esto suceda se ajusta mediante el trimmer de 2,5K. El condensador de $10\mu F$ asegura que las bases de los transistores de salida vean la misma señal. Note que la resistencia de colector del transistor Q1 (*driver*) ha sido sustituida por una fuente de corriente, desarrollada alrededor de Q5 y sus componentes asociados, específicamente los diodos de polarización y las resistencias de $10K$ y 100Ω .

El uso de una fuente de corriente en lugar de una resistencia para polarizar una etapa *push-pull* es una variante útil, debido a que con una resistencia puede ser difícil conseguir una corriente de base suficiente para impulsar los transistores de salida, particularmente Q2, hacia los puntos de excursión máximos. Además, una resistencia suficientemente pequeña para impulsar el transistor Q2 provoca una alta corriente de colector en reposo, con las consiguientes pérdidas de potencia, así como una reducción substancial de la ganancia. Otra solución alternativa al problema de impulsar la base de Q2, es utilizar técnicas de *bootstrapping* o de elevación de impedancias, como veremos más adelante.

Amplificadores de simetría complementaria con transistores Darlington

Las etapas de salida de los amplificadores *push-pull* clases B y AB que hemos examinado hasta el momento, están basados en el uso de dos transistores complementarios, uno del tipo NPN para proporcionar amplificación de potencia durante los semiciclos positivos de la señal de entrada, y otro, del tipo PNP para proporcionar amplificación durante los semiciclos negativos de la misma. En muchas ocasiones, sin embargo, es deseable tener la opción de utilizar transistores de salida del mismo tipo, es decir ambos NPN o ambos PNP. Este modo de funcionamiento puede conseguirse muy fácilmente utilizando **transistores Darlington**, como se muestra en la **figura 8.88**.

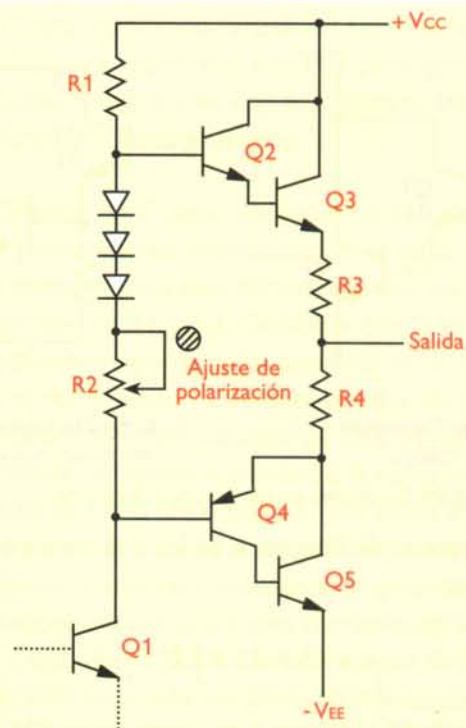


Figura 8.88. Etapa de potencia *push-pull* utilizando transistores de salida NPN en configuración Darlington

En este caso, Q2 (NPN) y Q3 (NPN) forman una estructura conocida como **Darlington**, la cual se comporta como un transistor NPN, mientras que Q4 (PNP) y Q5 (NPN) forman una estructura conocida como **Sziklai** o **Darlington complementaria**, la cual se comporta como un transistor PNP. Nuevamente, Q1 actúa como *driver* y R1, como la resistencia de colector de este último. Asimismo, R3 y R4, son las resistencias de emisor, encargadas de estabilizar térmicamente el sistema en la forma antes explicada. Este circuito se conoce también como **amplificador *push-pull* pseudo-complementario**, debido a que utiliza un Darlington NPN formado con dos transistores NPN, y un Darlington PNP formado con un transistor PNP y uno NPN. Un amplificador *push-pull* verdaderamente complementario utilizaría para este último propósito dos transistores PNP, pero los transistores de salida ya no serían del mismo tipo.

En la **figura 8.89** se muestra en detalle la estructura de una conexión Darlington. El conjunto se comporta como un solo transistor (NPN) con una ganancia de corriente (β) igual al producto de

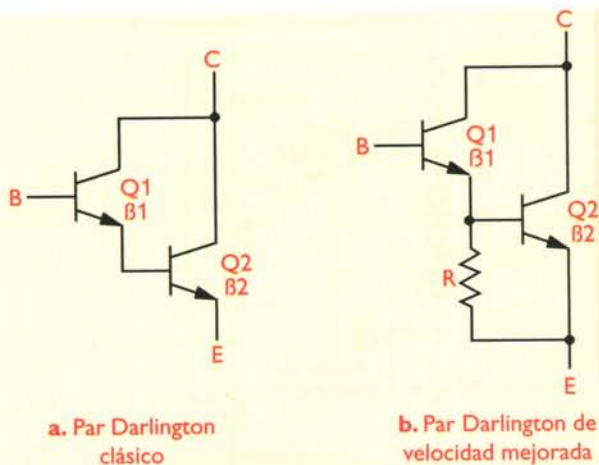


Figura 8.89. Transistores en configuración Darlington

las ganancias de corriente de los dos transistores. Esto es:

$$\beta = \beta_1 \times \beta_2$$

siendo β_1 la ganancia de corriente de Q1 y β_2 la ganancia de corriente de Q2. Por ejemplo, si $\beta_1=100$ y $\beta_2=35$, el transistor resultante tiene una ganancia de corriente total de 3.500. Esta característica es muy atractiva en situaciones donde se manejan altas corrientes, por ejemplo, reguladores de voltaje y etapas de salida de amplificadores de potencia, como en nuestro caso. Además, proporciona una muy alta impedancia de entrada. Sin embargo, su caída base-emisor (V_{BE}) es el doble de la normal y tiende a comportarse como un transistor lento. La forma más común de mejorar su velocidad es incluyendo una resistencia (R) entre la base y el emisor del transistor de salida (Q2), como se indica en la figura 8.89b

Típicamente, el valor de la resistencia R es del orden de unos pocos cientos de ohmios para transistores Darlington de potencia, y de algunos miles de ohmios para transistores Darlington de baja señal. Lo importante al seleccionar el valor de R, es que las corrientes de fuga de Q1 no produzcan sobre la misma una caída superior al V_{BE} de conducción de Q2, ni que esta resistencia absorba una porción apreciable de la corriente de base de Q2. Los transistores Darlington pueden venir también integrados en una misma cápsula, como los tran-

sistores comunes. Dos ejemplos representativos son el **2N6286**, un Darlington NPN de potencia con un β típico de 2.400 para una I_C de 10A, y el popular **MPSA14**, un Darlington NPN de baja señal con un β de 20.000 para una I_C de 100mA.

En la figura 8.90 se muestra en detalle la estructura de una conexión **Sziklai** o **Darlington complementaria**. Nuevamente el conjunto se comporta como un solo transistor (NPN), con una ganancia de corriente igual al producto de las ganancias individuales, una tensión base-emisor (V_{BE}) igual a una sola caída de diodo, una muy baja impedancia de salida y una muy alta impedancia de entrada. Este tipo de conexión, como se mencionó anteriormente, es muy común en el diseño de etapas de potencia *push-pull*, ya que facilita el uso de transistores de salida del mismo tipo (NPN o PNP), en lugar de transistores complementarios, los cuales son algunas veces difíciles de conseguir, especialmente para niveles elevados de potencia.

Las transistores Darlington y Sziklai no deben ser confundidos con los llamados **transistores superbeta**, unos dispositivos que poseen inherentemente una muy alta ganancia de corriente, conseguida a través de procesos de manufactura específicos y no mediante el acoplamiento de pares del mismo tipo o complementarios. Un ejemplo de transistor superbeta es el **2N5962**, el cual tiene un beta mínimo garantizado de 450 para corrientes de colector desde $10\ \mu A$ hasta 10mA. También se dispone de transistores superbeta acoplados, como los de las series **LM394** y **MAT-01**, los cuales proporcio-

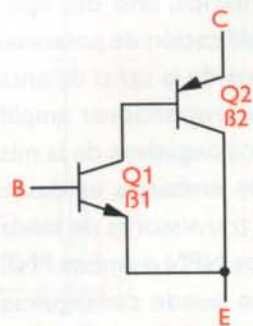


Figura 8.90. Transistores en configuración Sziklai o Darlington complementaria

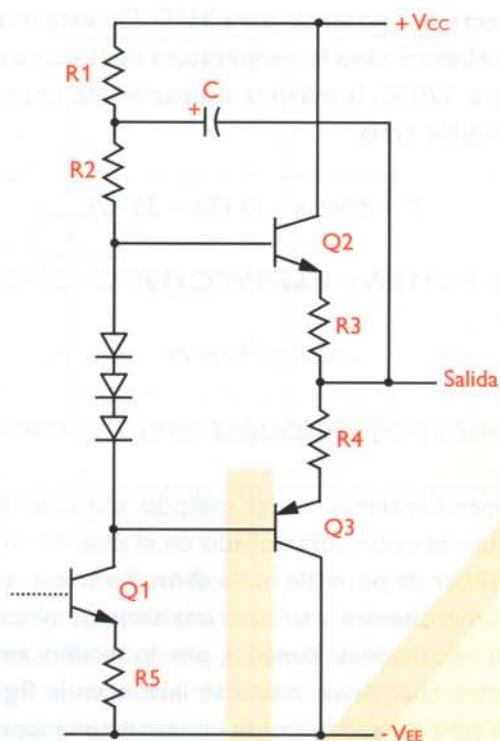


Figura 8.91. Etapa de potencia push-pull con bootstrapping

nan pares de transistores NPN de alta ganancia idénticos, con diferencias de apenas unas pocas décimas de milivoltio en sus voltajes V_{BE} ($50\mu\text{V}$, en el mejor de los casos) y de menos del 1% en sus ganancias de corriente.

Amplificadores de simetría complementaria con bootstrapping

La impedancia de entrada de un seguidor *push-pull* es teóricamente muy alta, pero, en la práctica, la dominan las impedancias de los diodos y las resistencias utilizadas para polarizar el circuito de base. Por esta razón la fuente de señal observa una impedancia mucho más baja de la que realmente presenta el transistor, vista desde la base. Lo ideal sería que la fuente de señal observará siempre un alta impedancia de entrada y no se sintiera afectada por el efecto de carga impuesto por el circuito de polarización. En la **figura 8.91** se muestra una foma de superar este problema. En este caso, el efecto del condensador C es aumentar efectivamente la impedancia de entrada vista por el *driver*

(Q1). Esta técnica, examinada en una anterior oportunidad para seguidores con FET, pero igualmente aplicable a seguidores con transistores bipolares, se denomina **bootstrapping**.

El valor de C debe ser seleccionado de modo que, para todas las frecuencias de la señal, ofrezca una reactancia muy baja comparada con los valores nominales de R1 y R2. Debido a que la salida del amplificador sigue la señal presente en la base de Q2, el condensador C levanta el valor de la resistencia de carga del colector de Q1, manteniendo un voltaje constante a través de la resistencia R2 a medida que esta señal cambia. Esto causa que, desde el punto de vista de la señal, R2 actúe como una fuente de corriente, aumentando la ganancia de Q1 y proporcionando una buena corriente para impulsar el transistor Q2, incluso en los picos de máxima excursión de la señal de salida. De hecho, cuando la señal de salida llega cerca de VCC, el voltaje en la unión de R1 y R2 crece realmente por encima de este valor debido a la carga almacenada en el condensador. Por ejemplo, si se escoge $R1=R2$ (que es una buena opción), el voltaje en la unión de R1 y R2, bajo esta condición, sube hasta $1,5 \times V_{CC}$.

Cálculo de disipadores de calor para amplificadores de potencia

Todos los dispositivos de potencia, incluyendo los transistores utilizados en la etapa de salida de los amplificadores *push-pull*, vienen empaçados en cápsulas que permiten el contacto entre una superficie metálica y un **disipador de calor** externo. La función del disipador es mantener la temperatura del semiconductor por debajo de un valor máximo, designado en las hojas de datos como **$T_j(\text{max})$** . Esta última, que es típicamente del orden de 200°C para transistores de cápsula metálica y 150°C para transistores de cápsula plástica, impone un límite a la máxima disipación de potencia por parte del dispositivo. La teoría general de los disipadores de calor se estudia en la sección de **Componentes** de este curso. En esta lección nos limitaremos únicamente a los aspectos básicos de cálculo y diseño de los mismos.

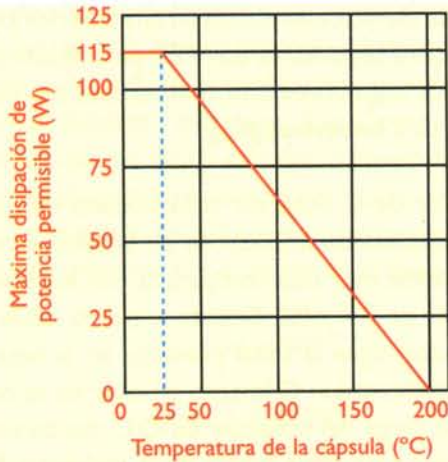


Figura 8.92. Curva de la máxima disipación de potencia permisible para un transistor de potencia representativo

La cantidad de potencia que un transistor puede disipar está relacionada directamente con la temperatura de su cápsula. Esta relación se representa gráficamente mediante una curva como la de la figura 8.92, conocida algunas veces como **característica de desvataje**, correspondiente en este caso a un transistor 2N3055 en cápsula TO-3. Observe que para temperaturas hasta de 25°C, la disipación de potencia está limitada a 115W. Sin embargo, ésta disminuye a medida que aumenta la temperatura por encima de 25°C, hasta llegar a cero, cuando se alcanza el límite térmico de 200°C. De este modo, si un diseño particular requiere que se disipen 55W en el transistor, entonces la temperatura de la cápsula no debe exceder de 115°C.

La máxima disipación de potencia permisible para una temperatura dada puede ser también evaluada mediante el conocimiento del **factor de desvataje (D)** del transistor, un parámetro usualmente incluido en las hojas de datos que especifica la tasa de reducción de la potencia con la temperatura a partir de 25°C. Por ejemplo, el 2N3055 tiene un factor de desvataje del orden de 657mW/°C. Esto significa que deben restarse 657mW por cada grado de aumento de la temperatura con

respecto a la potencia para 25°C. De este modo, si en nuestro caso la temperatura de la cápsula se eleva a 120°C, la máxima disipación de potencia permisible sería:

$$P = P_{\text{dmax}} - D (T_A - 25^\circ\text{C})$$

$$\Rightarrow P = 115\text{W} - 0,657\text{W}/^\circ\text{C} (120^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$\Rightarrow P = 52,6\text{W}$$

Concepto de resistencia térmica

Independientemente del método utilizado para evacuar el calor desarrollado en el interior de un transistor de potencia hacia el medio ambiente, el mismo encuentra a su paso una serie de obstáculos u oposiciones llamadas, por lo mismo, **resistencias térmicas**, como se ilustra en la figura 8.93 para el caso típico de un transistor montado en un disipador de calor. La **resistencia térmica**, que se designa como **R_{th}** o θ (lease "theta") y se expresa en grados centígrados por vatio (°C/W), es una medida cuantitativa del grado de dificultad que existe para eliminar el calor de un dispositivo. Este concepto es muy útil para calcular disipadores de calor, como veremos enseguida.

La cantidad de calor que puede evacuar un transistor depende básicamente de la resistencia térmica total existente entre la pastilla o unión semiconductor y el medio ambiente, así como de la diferencia de temperatura entre ellos. Para una di-

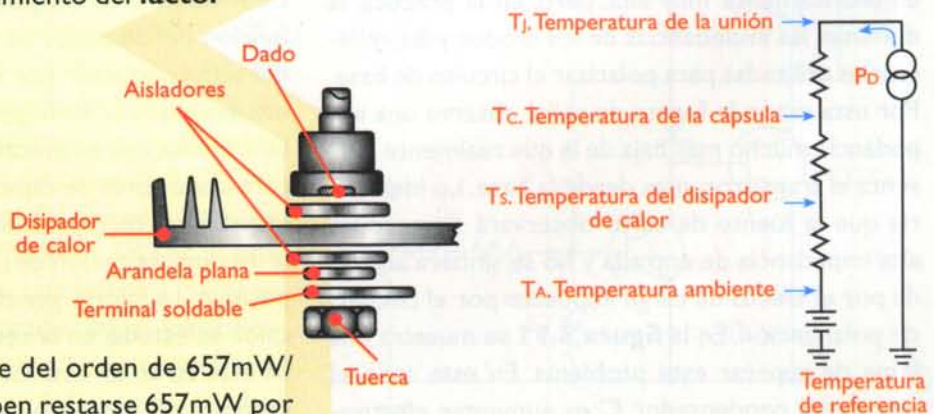


Figura 8.93. Concepto de resistencia térmica

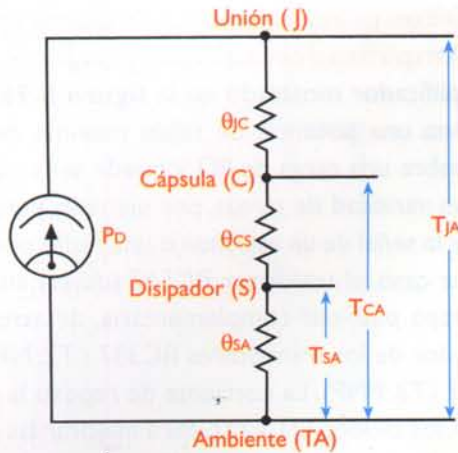


Figura 8.94. Circuito térmico equivalente, de un transistor montado en un disipador de calor

ferencia de temperatura ΔT dada, entre menor sea la resistencia térmica, mayor es la capacidad de disipación de potencia, y viceversa. Esta relación se puede representar mediante la siguiente fórmula, llamada con frecuencia la **Ley de Ohm térmica**:

$$\Delta T = T_j - T_a = P_d \times R_{th}$$

$$R_{th} = R_{thj-c} + R_{thc-s} + R_{ths-a}$$

En estas expresiones, ΔT es la diferencia entre la máxima temperatura interna admisible para el semiconductor (T_j) y la temperatura ambiente (T_a); P_d es la potencia que disipa el dispositivo, y R_{th} la resistencia térmica entre el semiconductor y el medio ambiente. Esta última incluye: la resistencia térmica entre el cristal o dado y la cápsula (R_{thj-c}), la resistencia térmica entre la cápsula y el disipador (R_{thc-s}) y la resistencia térmica entre el disipador y el medio ambiente (R_{ths-a}). Los valores de T_j , R_{thj-c} y P_d son proporcionados generalmente por los fabricantes en las hojas de datos de sus productos. La resistencia térmica R_{thc-s} , en particular, incluye el efecto de arandelas de mica, grasa de silicona, y demás elementos interpuestos entre la cápsula y el disipador para mejorar la transferencia de calor.

Para efecto de análisis, la resistencia térmica puede ser representada en un circuito equivalente como el de la **figura 8.94** y analizada como una resistencia convencional en un circuito eléc-

trico simple. Desde este punto de vista, la potencia disipada (P_d) es equivalente a la corriente, la diferencia de temperatura ($T_j - T_a$) es equivalente al voltaje aplicado, y las resistencias térmicas (θ_{jc} , θ_{cs} , θ_{sa}) a las cargas del circuito. Las caídas de voltaje en estas últimas son equivalentes a las temperaturas de cada elemento respecto al ambiente (T_{sa} , T_{ca} , T_{ja}). Esta correspondencia simplifica el diseño de disipadores de calor, puesto que, para unas condiciones de operación dadas (T_a , T_j , P_d), esta tarea se limita a calcular la resistencia térmica total (R_{thj-a}); y, a partir de este resultado, la resistencia térmica del disipador (R_{ths-a}). Con este último dato, usted busca en un catálogo especializado el disipador que mejor se adapte a sus necesidades.

Usted puede también construir sus propios disipadores de calor disponiendo de gráficas similares a la mostrada en la **figura 8.95**, la cual indica la resistencia térmica de un disipador hecho de lámina de aluminio de 1/8" de espesor. Esta resistencia se especifica asumiendo que el disipador se monta en forma vertical y sin ninguna obstrucción para el

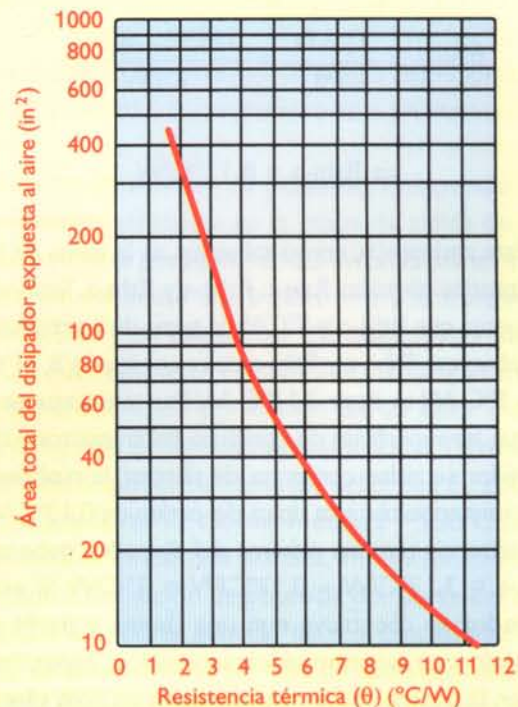


Figura 8.95. Resistencia térmica aproximada de un disipador de lámina de aluminio brillante de 1/8"

flujo de aire. Si el disipador se monta de otra manera, o si el flujo de aire presenta obstrucciones, la eficiencia se reduce, lo cual implica que debe utilizarse un disipador de mayor área. Como ejemplo, suponga que se desea calcular la resistencia térmica del disipador requerido para evacuar el calor de un transistor de potencia con cápsula TO-220 bajo las siguientes condiciones de trabajo:

$$T_a(\text{max}) = 60^\circ\text{C}$$

$$T_j(\text{max}) = 125^\circ\text{C}$$

$$P_D(\text{max}) = 8\text{W}$$

$$R_{thj-c} = 5^\circ\text{C/W}$$

Típicamente, una cápsula TO-220 puede soportar por sí misma, sin sobrecalentarse, cerca de 1,8W. Por tanto, en nuestro caso, la potencia efectiva que debe evacuar el disipador es $P_D = 8\text{W} - 1,8\text{W} = 6,2\text{W}$. De acuerdo a la ley de Ohm térmica, la resistencia térmica total máxima requerida es:

$$R_{thj-a} = \frac{T_j - T_a}{P_d} = \frac{125^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}}{6,2\text{W}}$$

$$\Rightarrow R_{thj-a} = 8,13^\circ\text{C/W}$$

Esta resistencia, como sabemos, es la suma de las resistencias térmicas R_{thj-c} , R_{thc-s} y R_{ths-a} . Teniendo en cuenta que $R_{thj-c} = 5^\circ\text{C/W}$, la suma de las resistencias térmicas R_{thc-s} y R_{ths-a} debe ser igual a $8,13^\circ\text{C/W} - 5^\circ\text{C/W}$, es decir $3,13^\circ\text{C/W}$. Por tanto, asumiendo que las superficies de contacto del transistor y del disipador se aíslan con grasa de silicona, la cual tiene una resistencia térmica típica del orden de $0,13^\circ\text{C/W}$, la resistencia térmica máxima del disipador debe ser $R_{ths-a} = 3,13^\circ\text{C/W} - 0,13^\circ\text{C/W} = 3^\circ\text{C/W}$. Si este disipador se construye con una lámina o perfil de aluminio con las mismas características especificadas en la **figura 8.95**, se necesitaría un área efectiva de disipación del orden de 180 pulgadas cuadradas, equivalente a 1.160 cm².

Circuitos prácticos con transistores

(II). Amplificadores de potencia

El amplificador mostrado en la **figura 8.96** proporciona una potencia de salida máxima de 250 mW sobre una carga de 8Ω y puede ser utilizado en gran variedad de tareas, por ejemplo, para amplificar la señal de un walkman o una radio portátil. En este caso, el transistor BC547 (*driver*) impulsa una etapa *push-pull* complementaria, desarrollada alrededor de los transistores BC337 (T2, NPN) y BC327 (T3, PNP). La corriente de reposo la establecen los diodos D1 y D2. Para mejorar la estabilidad del circuito, pueden adicionarse un par de resistencias de 0,47Ω en los circuitos de emisor de los transistores de salida. Con los valores de componentes indicados, la ganancia de voltaje es del orden de 23,5 dB (15 veces). Esta última puede ser modificada cambiando el valor de R1. El consumo de corriente es del orden de 180 mA.

El circuito mostrado en la **figura 8.97** opera verdaderamente en clase B, no consume corriente en condiciones de reposo y es capaz de proporcionar hasta 2W sobre una de carga de 4Ω utilizando una fuente de alimentación de 12V. El divisor formado por las resistencias R1-R3 fija el nivel de voltaje en la base de T1 ligeramente por

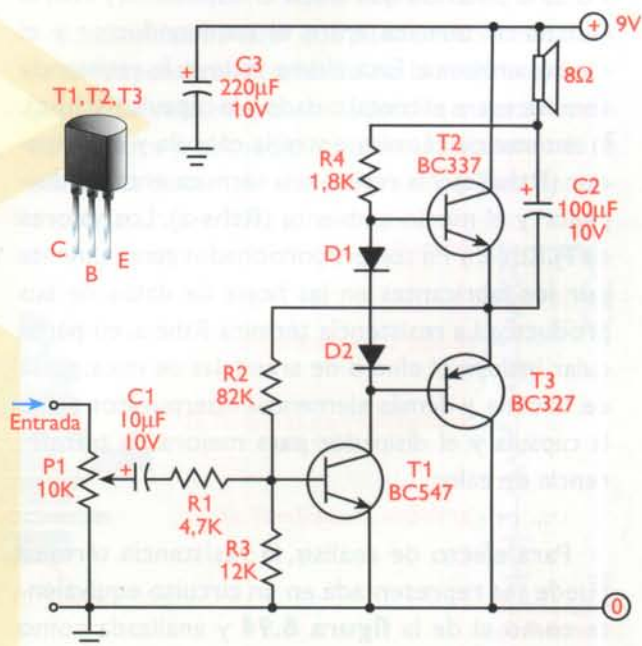


Figura 8.96. Amplificador miniatura de 250mW

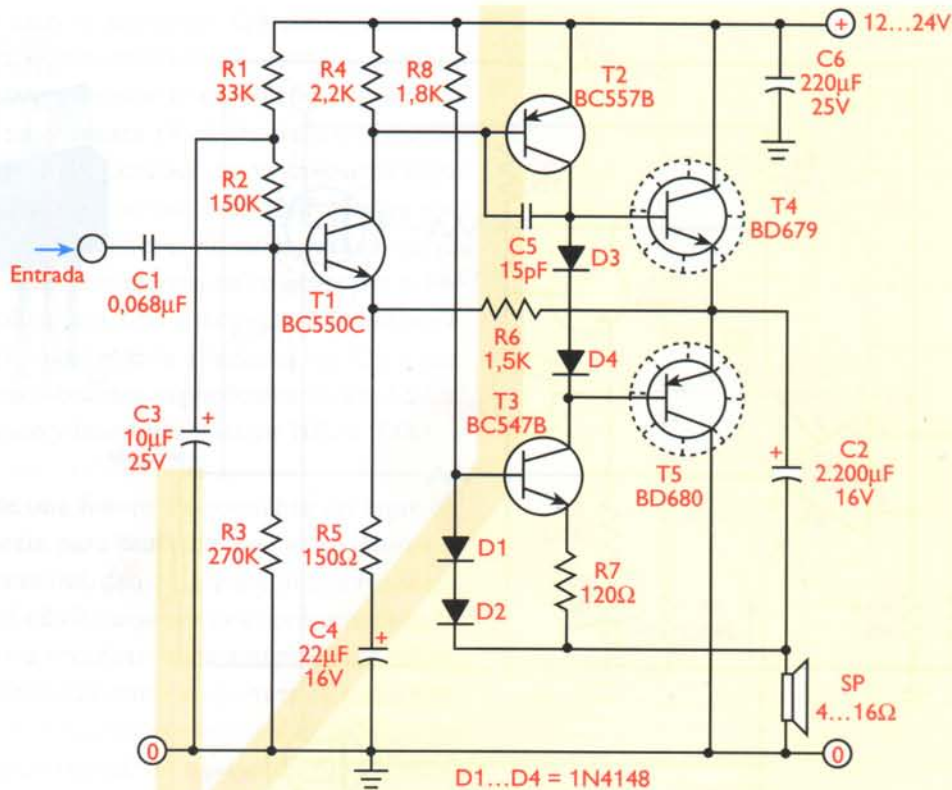


Figura 8.97. Amplificador clase B verdadero de 2W

encima de la mitad del voltaje de alimentación. También incluye una fuente de corriente en el colector de T2, constituida por T3, R7, D1 y D2, la cual permite que el circuito desarrolle una alta ganancia de voltaje. Note el uso de transistores Darlington en la etapa de salida para conservar baja la corriente entregada por el *driver* (T1). La ganancia de voltaje la determinan las resistencias R5 y R6, conectadas al emisor de T1.

En la **figura 8.98** se presenta una versión de amplificador de simetría complementaria de alta potencia construido con dos transistores MOSFET, uno de canal N (T3) y otro de canal P (T4). La señal de entrada la proporciona en este caso un amplificador operacional TL071 (IC1). Los transistores bipolares T1 y T2, que forman una fuente de corriente, establecen la corriente de reposo de drenador de los MOSFET de salida, la cual es del orden de 50mA. Esta corriente se ajusta mediante P1. Por tanto, el amplificador trabaja realmente en clase AB. La salida de potencia máxima de este circuito es del orden de 20W sobre una carga de 8Ω.

La teoría general de los amplificadores operacionales se examina en la próxima lección.

Para finalizar, en la **figura 8.99** se muestra un amplificador de potencia de 40W, desarrollado alrededor de un amplificador operacional de potencia **TDA2030** y una etapa de salida *push-pull*. Esta última la constituyen los transistores T1 (PNP) y T2 (NPN). El uso de circuitos integrados combinados con transistores de salida complementarios es una práctica muy común en el diseño de amplificadores de alta potencia. En este caso, la señal de audio se aplica a la entrada no inversora (+) de IC1 a través del condensador C1. Para potencias de salida por debajo de 2W no interviene el *push-pull*, sino que las mismas son suministradas completamente por IC1. Una vez se supera este umbral, comienzan a conducir gradualmente los transistores de salida, contribuyendo con la potencia excedente. Note que no se requieren diodos de polarización, ya que la compensación térmica y el control de la distorsión de cruce son proporcionados por el TDA2030.

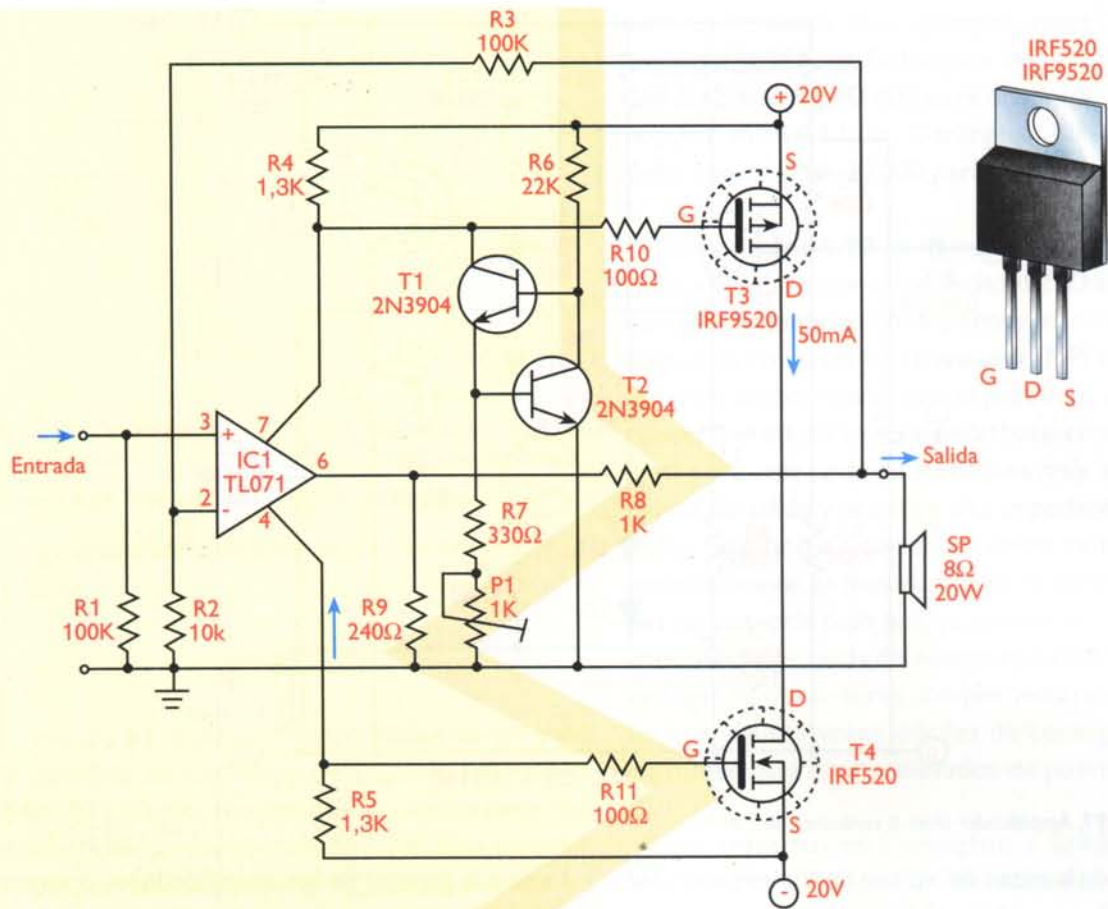


Figura 8.98. Amplificador de 20W con MOSFET de potencia

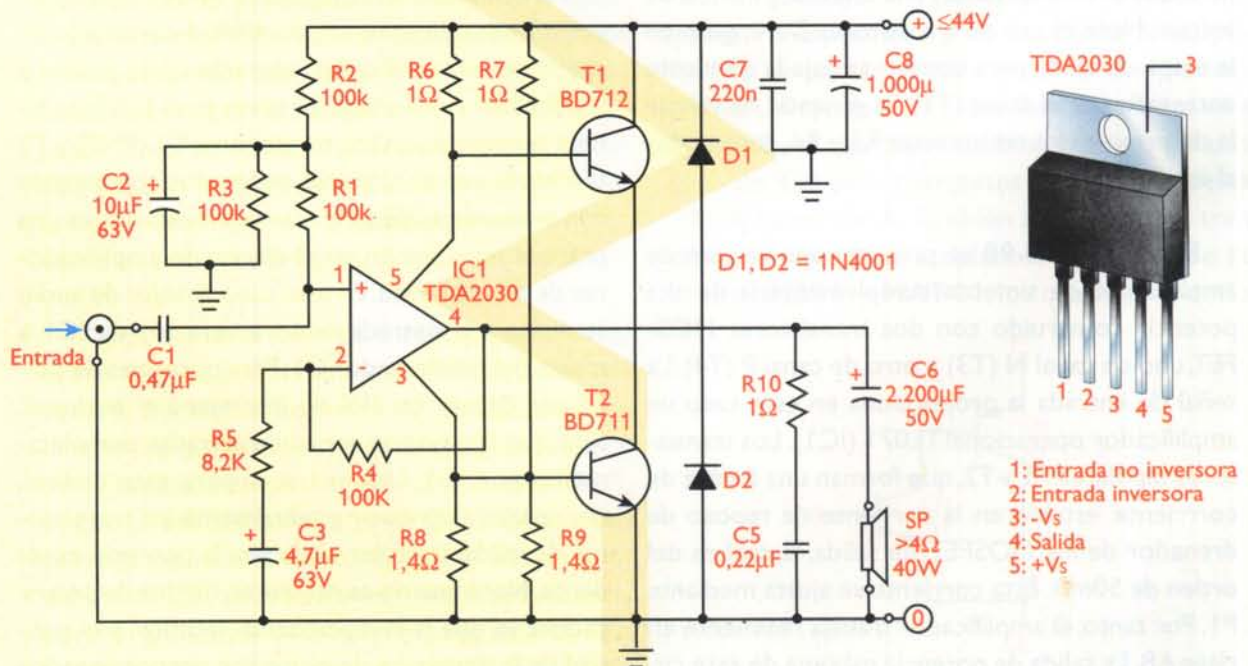
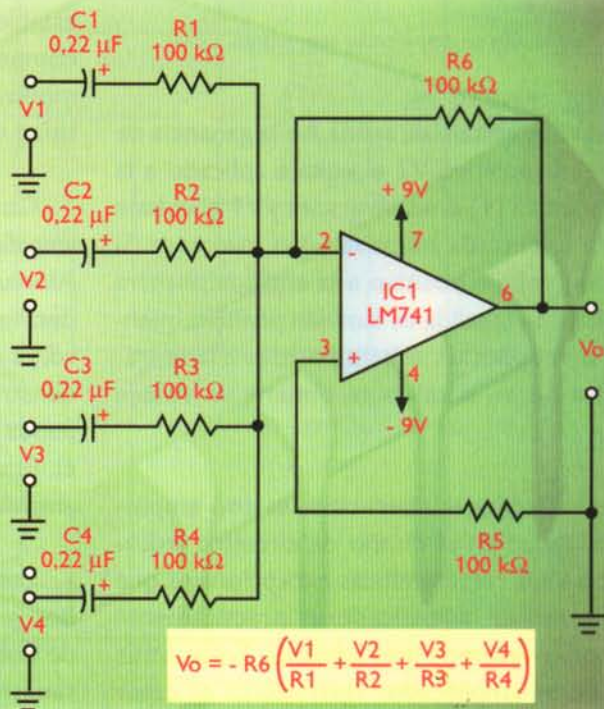
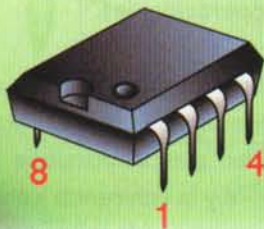
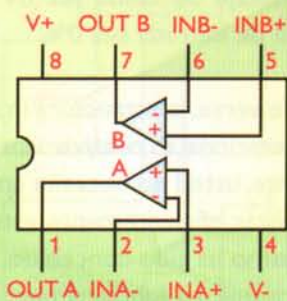


Figura 8.99. Amplificador de 40W con circuito integrado

Lección 9

Amplificadores operacionales

Los amplificadores operacionales, introducidos oficialmente al mercado a mediados de la década de 1960, son dispositivos de estado sólido extremadamente versátiles y fáciles de usar que se emplean como bloques constructivos básicos de en gran variedad de circuitos electrónicos, tanto análogos como digitales. En esta lección se examina la teoría general del amplificador operacional y se describen los circuitos básicos de utilización del mismo. También se explican los principales parámetros utilizados para caracterizar su funcionamiento y se presentan algunos circuitos prácticos de aplicación de los mismos.



Qué es un amplificador operacional

Un amplificador operacional (*op amp*) es, básicamente, un amplificador de voltaje de muy alta ganancia, que utiliza técnicas de realimentación para controlar sus características de desempeño (ganancia, impedancia de entrada, respuesta de frecuencia, etc.). En la **figura 9.1** se muestra el símbolo utilizado en los circuitos electrónicos para representar un amplificador operacional. El dispositivo posee dos líneas de entrada (+, -), una línea de salida, dos líneas de alimentación (+V, -V) y amplifica la *diferencia* entre los voltajes de entrada. Esto es:



Figura 9.1. Símbolo de un amplificador operacional.

siendo V_o el voltaje de salida, A_o la ganancia de voltaje del dispositivo, V_2 el voltaje aplicado a la entrada positiva (+) o no invertora y V_1 el voltaje aplicado a la entrada negativa (-) o invertora. Si se aplica un voltaje positivo a la entrada positiva (+), el voltaje en la salida es también positivo, mientras que si se aplica un voltaje positivo a la entrada negativa (-), en la salida se obtiene un voltaje negativo.

Los amplificadores operacionales son ampliamente utilizados en el diseño de circuitos análogos debido a sus características excepcionales, que los convierten en amplificadores prácticamente ideales, como veremos más adelante. Entre otras habilidades, un amplificador operacional es capaz de amplificar, controlar o generar todo tipo de for-

mas de onda, sinusoidales y no sinusoidales, sobre un amplio rango de frecuencias, desde 0 Hz (CC) hasta varios megahertzios. Además, pueden efectuar todo tipo de operaciones matemáticas con cantidades representadas por señales, incluyendo la suma, la resta, la multiplicación, la división, la integración y la diferenciación. Son también muy útiles en sistemas de control, sistemas de regulación, procesamiento de señales, instrumentación, computación análoga, etc.

Estructura interna

En la **figura 9.2** se muestra la estructura interna típica simplificada de un amplificador operacional. Consta básicamente de un amplificador diferencial, una etapa de compensación de *offset* y un seguidor de emisor complementario de salida. Todos estos bloques constructivos, acoplados directamente, se integran sobre una pastilla semiconductor y se albergan dentro de una cápsula DIP, o de otro tipo, para su presentación final. El amplificador diferencial, que puede estar construido con transistores bipolares o FET, determina la alta impedancia de entrada y la excelente ganancia de voltaje del dispositivo. El amplificador complementario establece la baja impedancia de salida. La red de compensación de *offset* polariza el sistema de modo que el voltaje de salida sea 0V cuando la señal diferencial de entrada sea 0V.

Como puede verse, la estructura interna de un amplificador operacional es relativamente compleja. Afortunadamente, usted no necesita conocerla en detalle para utilizar eficientemente este dispositivo, ya que el mismo ha sido concebido, diseñado y construido para que su funcionamiento sólo dependa de los componentes externos conectados a él. Esta es una de las principales virtudes de los amplificadores operacionales.

Los amplificadores operacionales son impulsados generalmente por una fuente de alimentación de doble polaridad que proporciona las tensiones simétricas +V y -V y la referencia común de tierra (GND). Esto permite que la salida del amplificador

pueda realizar excursiones positivas y negativas con respecto a tierra y adoptar cualquier valor entre +V y -V, inclusive cero. Algunos operan con una fuente sencilla.

Circuito equivalente. Características generales

En la **figura 9.3** se muestra el circuito eléctrico equivalente de un amplificador operacional. En este modelo, **V_{in}** representa el voltaje diferencial ($V_2 - V_1$) aplicado a las entradas, **R_{in}** la impedancia de entrada, **A_o** la ganancia de voltaje, **R_o** la impedancia de salida y **V_o = A_oV_{in}** el voltaje de salida resultante. Idealmente, un amplificador operacional posee las siguientes propiedades:

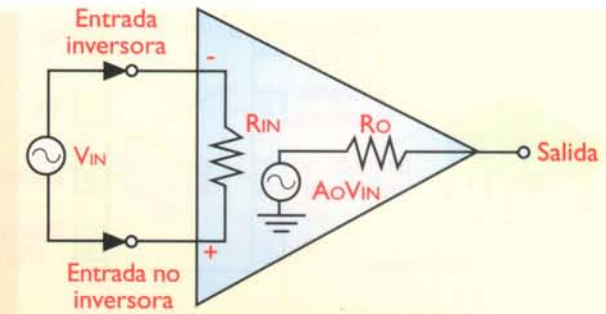


Figura 9.3. Circuito equivalente de un amplificador operacional

1. La ganancia de voltaje es infinita ($A_o = \infty$).
2. La impedancia de entrada es infinita ($R_{in} = \infty$).
3. La impedancia de salida es cero ($R_o = 0$).
4. El ancho de banda es infinito ($BW = \infty$).
5. El voltaje de salida (V_o) es cero cuando el voltaje diferencial de entrada ($V_2 - V_1$) es cero.

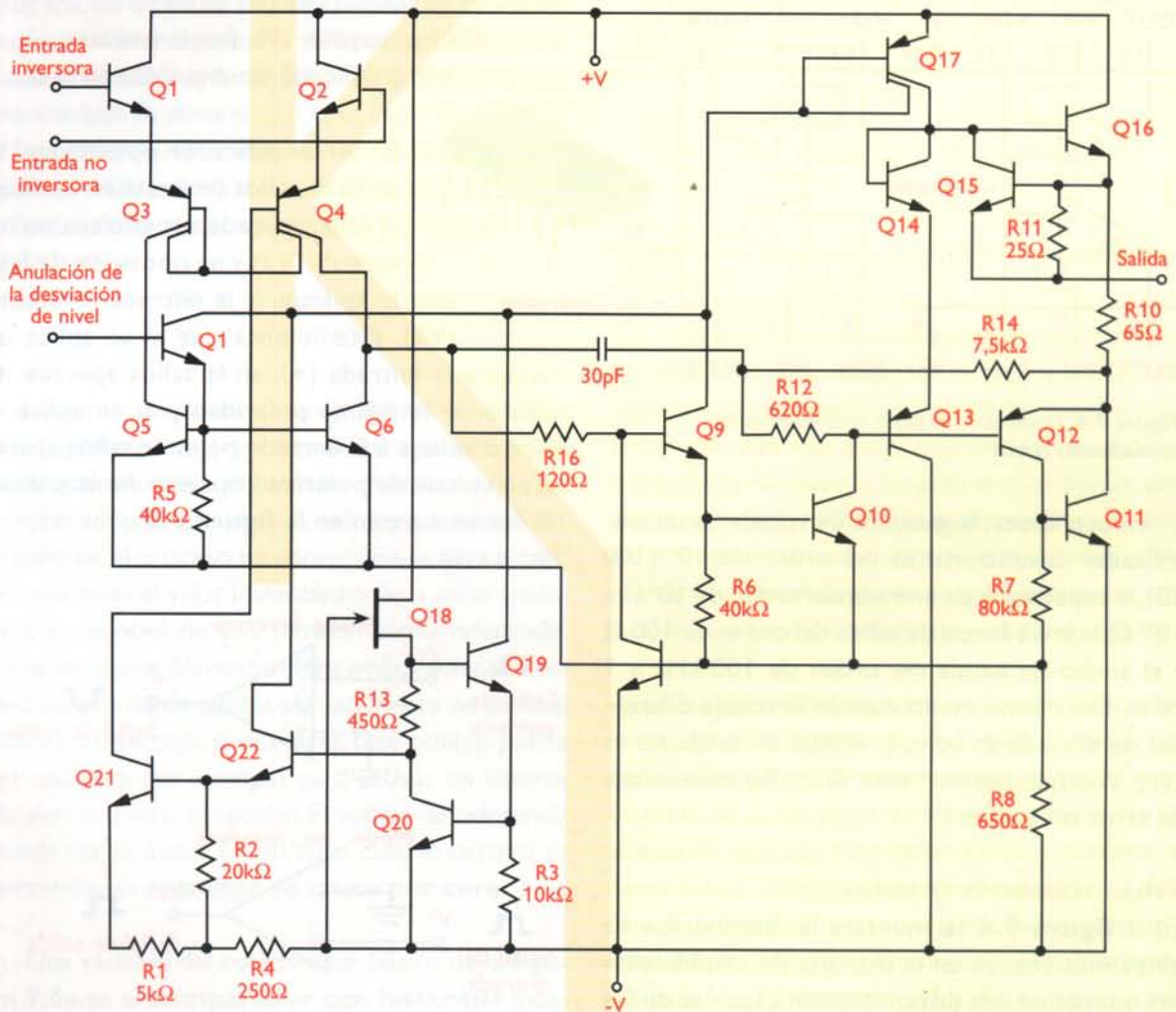
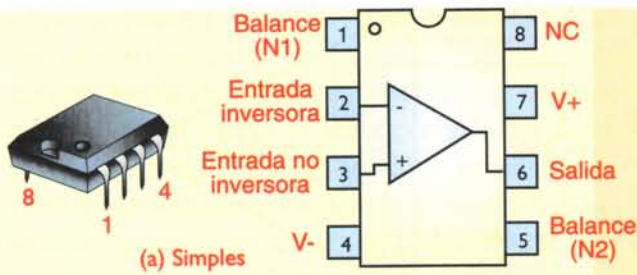
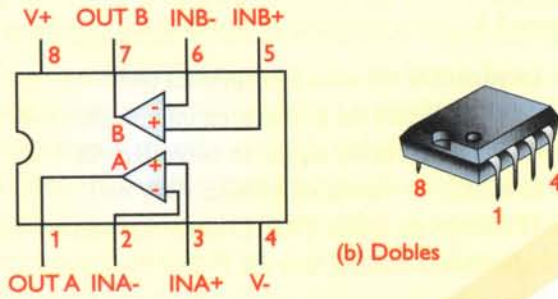


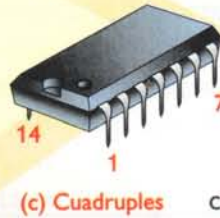
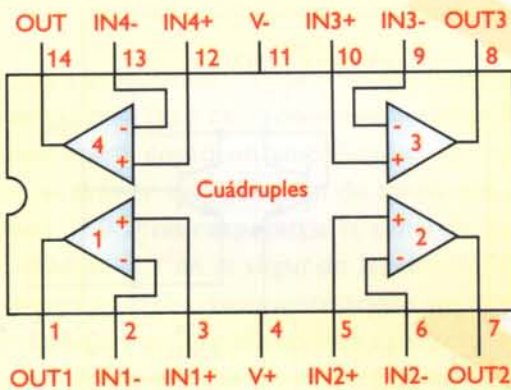
Figura 9.2. Circuito interno típico de un amplificador operacional representativo.



(a) Simple



(b) Dobles



(c) Cuádruples

Figura 9.4. Distribución de pines de amplificadores operacionales típicos

En la práctica, la ganancia de voltaje de un amplificador operacional es del orden de 10^5 (100 dB), la impedancia de entrada del orden de $10^6 \Omega$ a $10^{12} \Omega$, la impedancia de salida del orden de 100Ω y el ancho de banda del orden de 100 kHz a 1 MHz. Del mismo modo, cuando el voltaje diferencial de entrada es cero, el voltaje de salida no es cero, sino que tiene un valor finito llamado voltaje de error o de *offset*.

Presentaciones usuales

En la figura 9.4 se muestra la distribución de pines más común en la mayoría de amplificadores operacionales disponibles en cápsulas de 8 y 14 pines. Las cápsulas de 8 pines pueden conte-

ner uno o dos amplificadores operacionales, mientras que las cápsulas de 14 pines generalmente contienen cuatro unidades completamente independientes.

La mayor parte de los amplificadores operacionales simples, además de las líneas de entrada (IN-, IN+), de salida (OUT) y de alimentación (V+, V-), poseen dos terminales adicionales de anulación de *offset* (N1, N2) que permiten fijar precisamente la salida en cero cuando la señal de entrada es cero. En la mayoría de los casos esta operación se efectúa conectando un potenciómetro entre los pines 1 y 5 y enviando el cursor al terminal negativo de la fuente de alimentación, directamente o través de una resistencia, como se explica más adelante.

Relaciones de fase en un amplificador operacional

En un amplificador operacional la señal de salida (V_o) está en fase con la señal aplicada a la entrada no inversora (V2) y en oposición de fase con la aplicada a la entrada inversora (V1). Esto implica que si se aplica un voltaje a la entrada (+), en la salida aparece un voltaje de la misma polaridad y si se aplica el mismo voltaje a la entrada (-), en la salida aparece un voltaje de polaridad opuesta. Ambas situaciones se ilustran en la figura 9.5

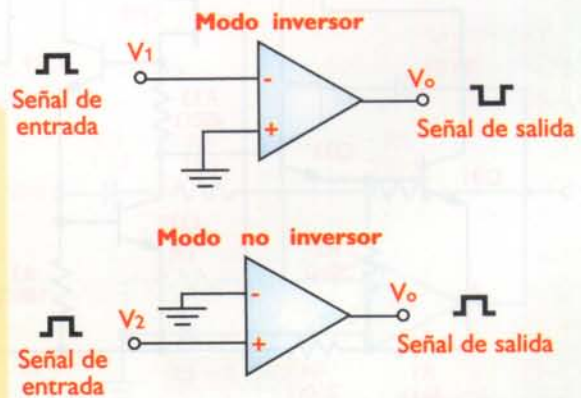


Figura 9.5. Relaciones de fase en un amplificador operacional

Operación en lazo abierto. Comparadores

Un amplificador operacional puede ser utilizado básicamente en dos formas: en **lazo abierto** o en **lazo cerrado**. Los circuitos de la **figura 9.5** son ejemplos de operación en lazo abierto. En estos casos no hay **realimentación** (conexión externa) entre la salida y las entradas, y el dispositivo trabaja con su máxima ganancia posible (A_o , llamada *ganancia de lazo abierto*). La operación en lazo abierto se utiliza principalmente para comparar voltajes. En la **figura 9.6a** se muestra un comparador de voltaje básico con amplificador operacional. En este circuito, un voltaje de referencia fijo (V_2) se aplica a la entrada inversora (-) y un voltaje de muestra variable (V_1) a la entrada no inversora (+).

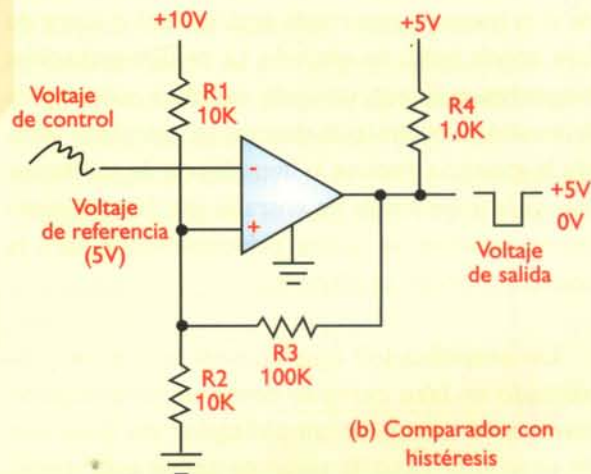
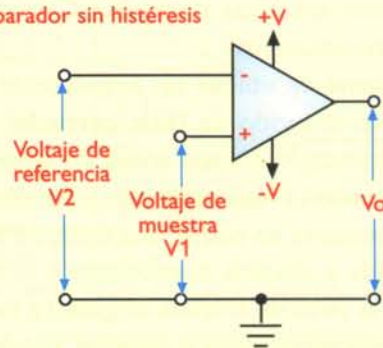
Debido a que la ganancia de lazo abierto (A_o) es muy alta, del orden de 100 dB (100.000 veces) o más, cualquier diferencia entre V_1 y V_2 , por mínima que sea, causa que la salida se sature y V_o alcance un valor próximo al voltaje de alimentación. ($\pm V$). Específicamente, si V_1 es mayor que V_2 , entonces V_o es prácticamente igual a $+V$. Del mismo modo, si V_1 es menor que V_2 , entonces V_o es prácticamente igual a $-V$. Esto es:

$$\begin{aligned} V_o &= +V \text{ si } V_1 > V_2 \\ V_o &= -V \text{ si } V_1 < V_2 \end{aligned}$$

Los comparadores son muy utilizados en sistemas digitales para convertir señales análogas, continuamente variables, en señales digitales, que sólo pueden adoptar uno de dos valores posibles. Normalmente, el proceso de conversión se lleva a cabo comparando el valor instantáneo de la señal análoga con un nivel de CC tomado como referencia. Cada vez que la diferencia entre ambos voltajes tiende a cero, la salida cambia abruptamente de un nivel alto a un nivel bajo, o viceversa. Este cambio puede ser utilizado, por ejemplo, para activar un sistema de alarma u otro propósito. El voltaje de referencia puede ser, inclusive, 0V, en cuyo caso el circuito se denomina un **detector de cruce por cero**.

Una variante del comparador básico de la **figura 9.6a** es el **comparador con histéresis** mostrado en la **figura 9.6b**. En este caso, R_3 introduce

(a) Comparador sin histéresis



(b) Comparador con histéresis

Figura 9.6. Comparadores de voltaje básicos con amplificador operacional

una realimentación positiva cuyo efecto es conseguir que el circuito tenga dos umbrales de disparo, dependiendo del estado de la salida. En nuestro caso, estos umbrales son 4,76V cuando la salida está en tierra (0V) y 5V cuando la salida está en 5V. De este modo se evita que el ruido superpuesto a la señal de entrada produzca múltiples transiciones en el voltaje de salida. Además, se asegura una rápida respuesta en el caso de señales de entrada muy lentas.

La configuración anterior se denomina comúnmente un **disparador de Schmitt** (*Schmitt trigger*). La **histéresis** se refiere al hecho que el estado de la salida depende no solamente del valor del voltaje de entrada, sino de su historia reciente, es decir, si está aumentando o disminuyendo. La diferencia de tensión entre los umbrales superior e inferior de disparo se denomina, precisamente, **voltaje de histéresis** (V_H). En nuestro caso, $V_H = 5,00V - 4,76V = 0,24V$.

Operación en lazo cerrado. Concepto de realimentación

La otra forma de utilizar un amplificador operacional es en el modo de **lazo cerrado**. En este caso, el dispositivo trabaja como un amplificador **realimentado**. La realimentación o *feedback* consiste básicamente en tomar una muestra de la señal de salida y enviarla nuevamente a la entrada, junto con la señal de entrada original. La realimentación puede ser positiva o negativa, dependiendo de si la muestra retornada está en fase o fuera de fase con la señal de entrada. La **realimentación negativa** es la más utilizada debido a que mejora la linealidad, minimiza la distorsión, mantiene estable la ganancia, reduce la impedancia de salida, aumenta la impedancia de entrada, etc. La realimentación positiva se utiliza principalmente para la construcción de osciladores.

Un amplificador operacional puede ser conectado en lazo cerrado como un amplificador inversor o como un amplificador no inversor. En el primer caso, la señal de salida está desfasada 180° con respecto a la señal de entrada, mientras que en el segundo las dos señales están en fase. Prácticamente todos los montajes prácticos con amplificadores operacionales están fundamentados en estas dos configuraciones. A continuación examinaremos los siguientes circuitos básicos:

- Amplificadores inversores
- Amplificadores no inversores
- Seguidores de voltaje
- Sumadores o mezcladores
- Restadores o amplificadores diferenciales
- Integradores
- Diferenciadores

Por comodidad, la mayoría de los circuitos prácticos mostrados están desarrollados alrededor de un circuito integrado **LM741**, que es un amplificador operacional representativo y de fácil consecución. Sin embargo, todos ellos pueden ser contruidos con cualquier otro amplificador operacional de propósito general.

Amplificadores inversores. Concepto de tierra virtual

En la **figura 9.7a** se muestra la estructura básica de un amplificador inversor destinado a la amplificación de señales de voltaje de CC. La ganancia de voltaje del circuito la determinan $R1$ y $R2$, y se evalúa mediante la siguiente expresión:

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R2}{R1}$$

El signo menos ("-") simplemente indica que se produce inversión de fase, es decir, la señal de salida siempre está desfasada 180° con respecto a la señal de entrada. Por ejemplo, si $R2 = 100k\Omega$ y $R1 = 10k\Omega$, entonces la ganancia de voltaje es de 10 ($= 100k\Omega / 10k\Omega$). Sustituyendo $R2$ por un potenciómetro de $100k\Omega$, esta ganancia sería continuamente variable entre 0 y 10. De todas formas, es importante tener en cuenta que, aunque $R1$ y $R2$ controlan la ganancia total del circuito, no tienen efecto alguno en las características intrínsecas del amplificador operacional.

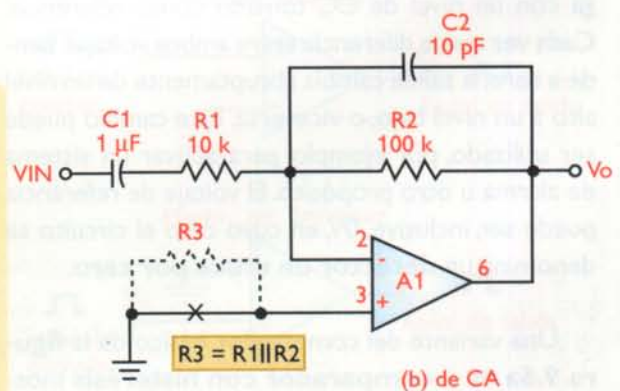
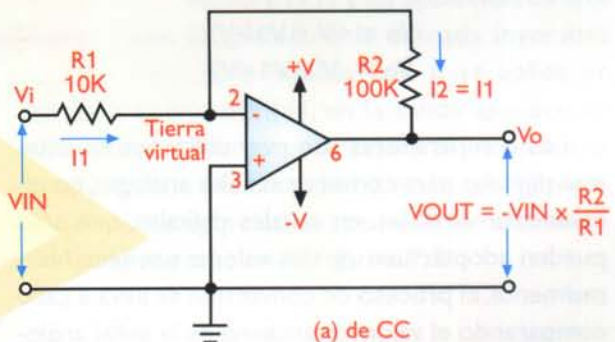


Figura 9.7. Amplificadores inversores

Lo anterior implica que el terminal inversor sigue teniendo una muy alta impedancia de entrada y por tanto no absorbe corriente. Como resultado, toda la corriente que fluye a través de R1 también lo hace a través de R2. La impedancia de entrada del circuito es prácticamente igual al valor de R1. Por tanto, la ganancia y la impedancia de entrada son fácilmente controlables desde el exterior. La impedancia de salida es muy baja.

El punto común de unión de R1 y R2 se denomina **tierra virtual**, debido a que tiene siempre el mismo potencial de la entrada no inversora, sin estar físicamente conectado a esta última. En otras palabras, las entradas “+” y “-” de un amplificador operacional se comportan como un **circuito abierto** porque no absorben corriente, pero también como un **cortocircuito** porque el voltaje o diferencia de potencial entre ellas es cero. El concepto de tierra virtual es básico para analizar y diseñar circuitos con amplificadores operacionales.

En la **figura 9.7b** se muestra la estructura básica de un amplificador inversor destinado a la amplificación de señales de CA de baja frecuencia. La señal que se va a amplificar se aplica a la entrada inversora a través de la red R1C1. La realimentación negativa la proporciona la red R2C2. En este caso, debido a la adición de C1 y C2, la ganancia de voltaje depende de la frecuencia. El ancho de banda (BW) es igual a la frecuencia de corte de lazo abierto (FT) dividida por la ganancia de voltaje (Av). Por ejemplo, si FT=1 MHz y Av=10, entonces BW=100 kHz. R3 se utiliza para conseguir que Vo sea 0 cuando Vi es 0.

Amplificadores no inversores

En la **figura 9.8a** se muestra la estructura de un circuito no inversor básico de CC. En esta configuración, la señal de entrada se aplica directamente a la entrada no inversora (+), mientras que una fracción de la señal de salida se realimenta a la entrada inversora (-). La realimentación negativa la

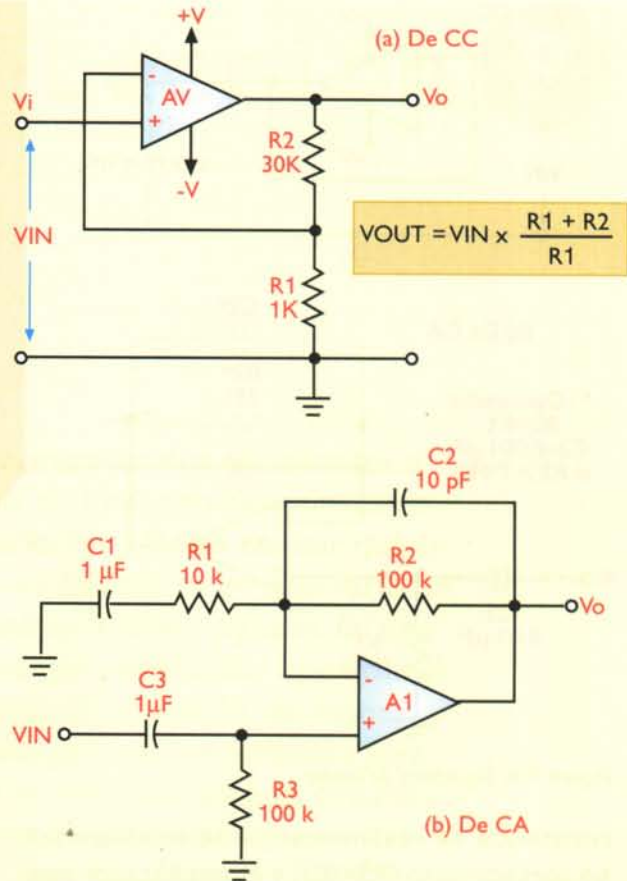


Figura 9.8. Amplificadores no inversores

proveen R1 y R2. La ganancia de voltaje (Av) siempre es mayor de 1 y está dada por la siguiente expresión:

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Por ejemplo, si R2=30K y R1=1K, entonces la ganancia de voltaje es de 31 (1+30). Esta configuración no produce inversión de fase, lo cual implica que la señal de salida está en fase con la señal de entrada. El circuito de la **figura 9.8a** puede convertirse fácilmente en un amplificador de voltajes de CA incorporando algunos condensadores, como se indica en la **figura 9.8b**. La impedancia de entrada de este montaje es prácticamente igual al valor de R3.

Seguidores de voltaje

Una variante importante del amplificador no inversor es el **seguidor de voltaje**. En este caso, la

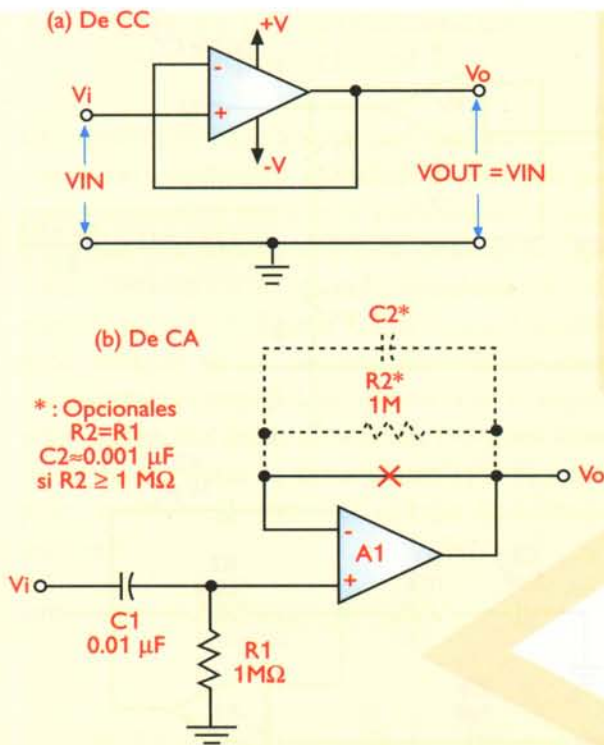


Figura 9.9. Seguidores de voltaje

resistencia de realimentación se sustituye por un cortocircuito ($R2=0\Omega$) y el amplificador opera con un 100% de realimentación negativa. Como resultado, el voltaje de salida es el mismo voltaje de entrada y la ganancia de lazo cerrado es igual a 1. En las figuras 9.9 (a) y (b) se muestran, en su orden, los circuitos básicos de un seguidor de voltaje de CC y de un seguidor de voltaje de CA.

Los seguidores de voltaje se utilizan, básicamente, para acoplar impedancias. En el caso del seguidor de CC de la figura 9.9a, la impedancia de entrada es muy alta y aproximadamente igual a $AoZin$, siendo Ao la ganancia de lazo abierto y Zin la impedancia de entrada del amplificador operacional.

En contraste, la impedancia de salida es muy baja, dependiendo del amplificador operacional utilizado. Para el seguidor de CA de la figura 9.9(b), la impedancia de entrada depende de la frecuencia, siendo alta en bajas frecuencias y baja en altas frecuencias.

Técnicas de anulación de offset

Como se mencionó anteriormente, un amplificador operacional debería entregar un voltaje de salida de 0V para un voltaje diferencial de entrada de 0V. En la práctica, esto no siempre sucede. Como resultado, sin señal de entrada aplicada, el voltaje de salida tiene un valor distinto de cero. Este último es causado por la existencia de un voltaje de error (*offset*) en la entrada, propio del amplificador operacional, el cual debe ser anulado en la mayoría de los casos para conseguir un funcionamiento satisfactorio.

Algunos amplificadores operacionales, especialmente los destinados para tareas de precisión, poseen entradas de control especiales que permiten anular externamente los efectos de este voltaje de *offset*. En la figura 9.10a se muestra un ejemplo, aplicado a un amplificador CC inversor con una ganancia de voltaje de 10.

En este caso, la anulación del *offset* se consigue ajustando $R4$ hasta que el voltaje de salida sea cero cuando el voltaje de entrada sea cero. Si se retira la red anuladora de *offset*, el voltaje de salida estará desbalanceado en una cantidad igual al producto del voltaje *offset* de entrada (típicamente ± 1 mV) por la ganancia de lazo cerrado (Av). Por ejemplo, si $Av=100$, la salida sería de ± 100 mV con las dos entradas puestas a tierra.

Cuando no se dispone de entradas de anulación de *offset* dedicadas, debe recurrirse a estrategias externas para su eliminación, como se ilustra en la figura 9.10b y 9.10c. En el primer caso, la idea es generar un voltaje variable de compensación en la entrada inversora del amplificador. El valor máximo de este voltaje, que se obtiene de la fuente de polarización ($\pm Vcc$) mediante el potenciómetro $R4$ y el divisor formado por $R3$ y la resistencia equivalente en paralelo de $R2$ y $R1$, está dado por:

$$V_{io} = \frac{\pm V_{cc} (R1 || R2)}{R3}$$



Con los valores de componentes indicados en la figura, este voltaje sería variable entre +15mV y -15mV, aproximadamente. Para el circuito de la **figura 9.10b** se aplica una idea similar, excepto que se trata de un amplificador no inversor. En este caso, el rango de ajuste del voltaje de compensación viene dado por:

$$V_{ios} = \frac{\pm V_{cc} (R1 || R2)}{(R3 + (R1 || R2))}$$

Con los valores de componentes indicados en la figura, este rango de ajuste sería de ±18mV.

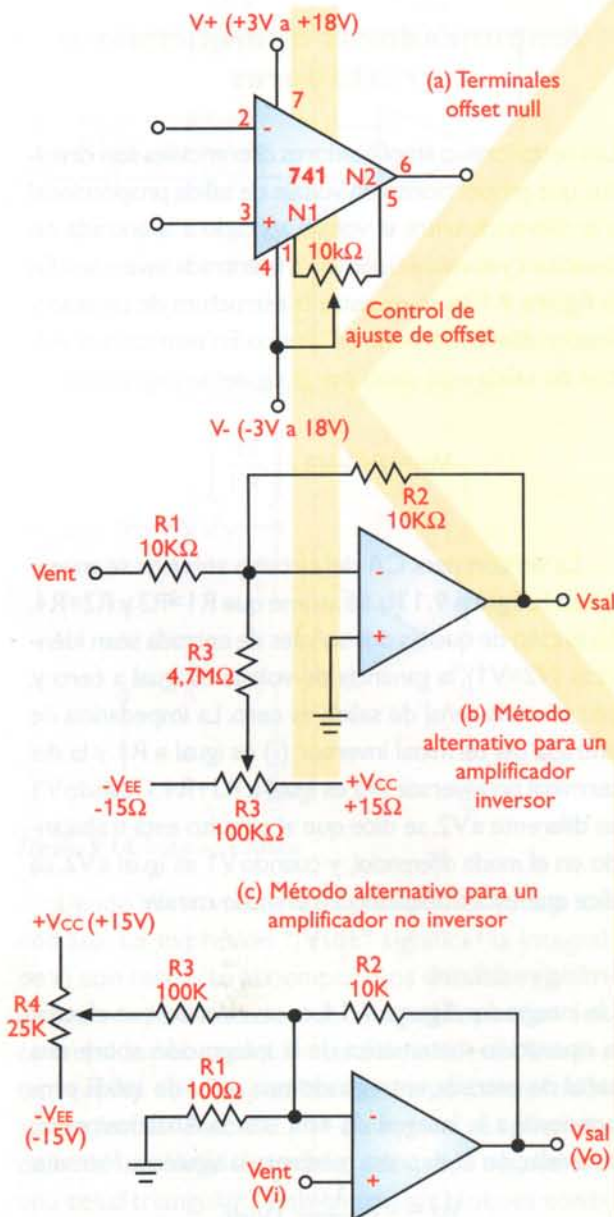


Figura 9.10 .Técnicas de anulación de offset

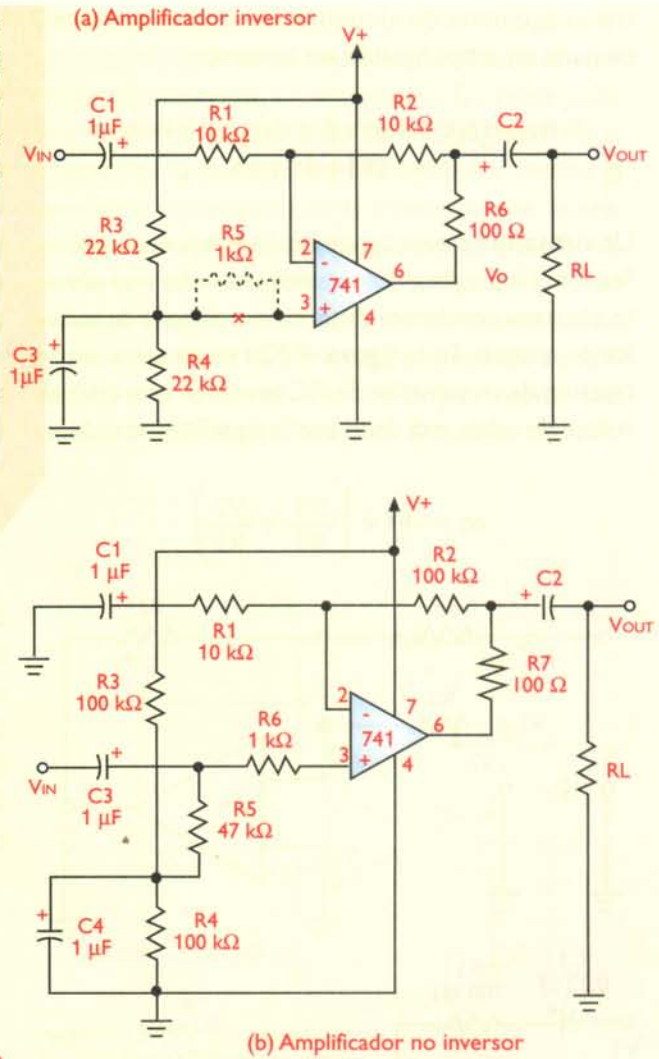


Figura 9.11. Amplificadores de CA con fuente sencilla

Alimentación mediante fuente sencilla

En la **figura 9.11a** se indica la forma de alimentar un amplificador inversor mediante una fuente de alimentación sencilla. El divisor formado por R3 y R4 polariza la entrada no inversora del amplificador operacional a la mitad del voltaje de alimentación. Debido a la presencia de C1, la ganancia de voltaje en CC del circuito es igual a 1. Esto garantiza que la salida quede automáticamente polarizada a la mitad del voltaje de alimentación. Los demás componentes cumplen funciones auxiliares. En particular, C3 actúa como eliminador de ruido y C2 como condensador de paso de señal hacia la resistencia de carga (RL) o la etapa siguiente. En la **figura 9.11b** se mues-

tra el esquema de alimentación correspondiente para un amplificador no inversor.

Amplificadores sumadores o mezcladores

Un **sumador**, como su nombre lo indica, es un amplificador que produce como salida una señal equivalente a la suma ponderada de un cierto número de señales de entrada. En la **figura 9.12a** se muestra la estructura de un sumador de CC básico. En este caso, el voltaje de salida está dado por la siguiente expresión:

$$V_o = -R_f \times \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

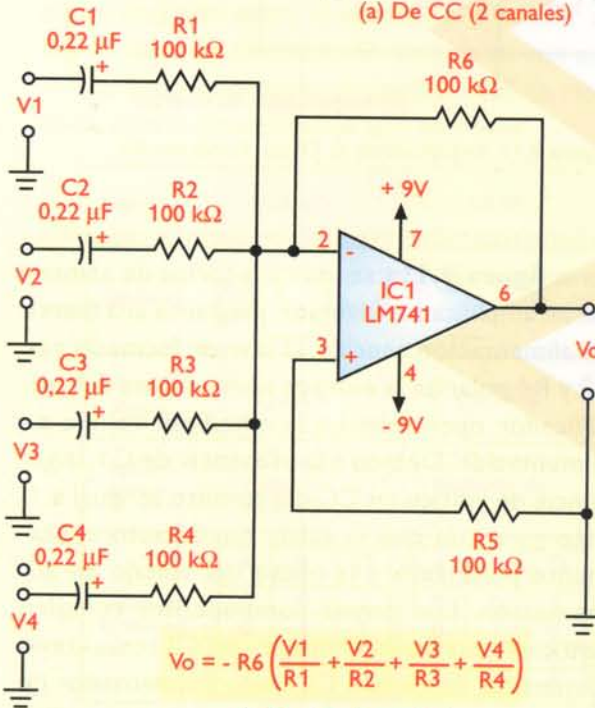
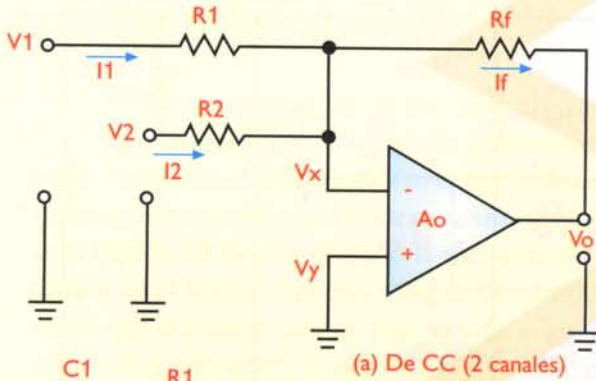


Figura 9.12. Amplificadores sumadores (mezcladores)

Por tanto, la ganancia total de voltaje de un amplificador sumador depende del valor de la resistencia de realimentación, mientras que la ganancia de cada señal es autónoma y depende de los valores de la resistencia de entrada correspondiente. El circuito se puede expandir fácilmente para aceptar más de dos señales de entrada conectando estas últimas al punto de suma a través de resistencias adicionales. Si se hace $R_1=R_2=R_f$, el circuito se convierte en un sumador de ganancia unitaria. El montaje práctico de un amplificador sumador para CA de cuatro canales se muestra en la **figura 9.12b**.

Amplificadores diferenciales o restadores

Los restadores o amplificadores diferenciales son circuitos que proporcionan un voltaje de salida proporcional a la diferencia entre el voltaje aplicado a la entrada no inversora y el voltaje aplicado a la entrada inversora. En la **figura 9.13a** se muestra la estructura de un amplificador diferencial para CC básico. En este caso, el voltaje de salida está dado por la siguiente expresión:

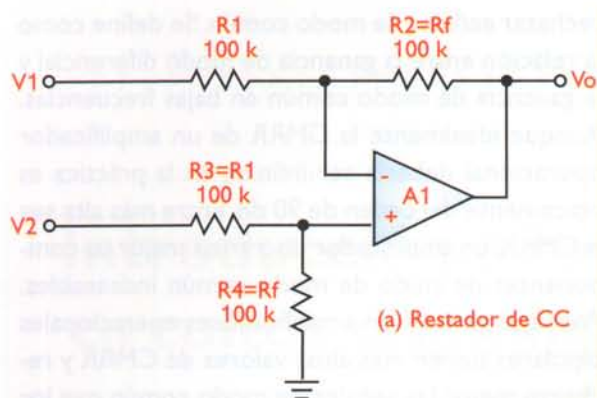
$$V_o = (V_2 - V_1) \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$$

La versión para CA del circuito anterior se muestra en la **figura 9.13b**. Se asume que $R_1=R_3$ y $R_2=R_4$. En el caso de que las dos señales de entrada sean idénticas ($V_2=V_1$), la ganancia de voltaje es igual a cero y, por tanto, la señal de salida es cero. La impedancia de entrada del terminal inversor (-) es igual a R_1 y la del terminal no inversor (+) es igual a R_3+R_4 . Cuando V_1 es diferente a V_2 , se dice que el circuito está trabajando en el *modo diferencial*, y cuando V_1 es igual a V_2 , se dice que está trabajando en el *modo común*.

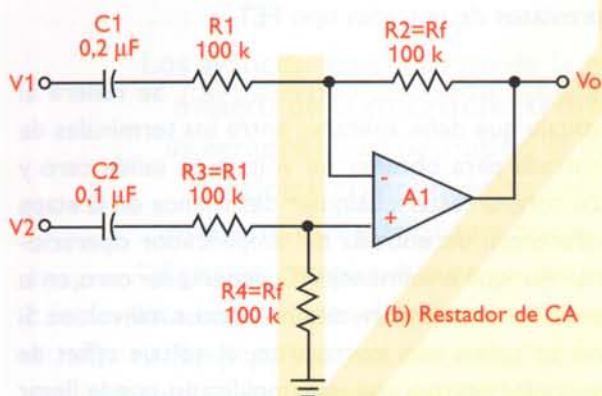
Integradores

Un integrador; **figura 9.14**, es un circuito que efectúa la operación matemática de la integración sobre una señal de entrada, entregando una señal de salida proporcional a la integral de esta última. Analíticamente, esta relación se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$V_o = - \frac{1}{(R_1C)} \int V_i dt$$



(a) Restador de CC



(b) Restador de CA

Figura 9.13. Amplificadores restadores (diferenciales)

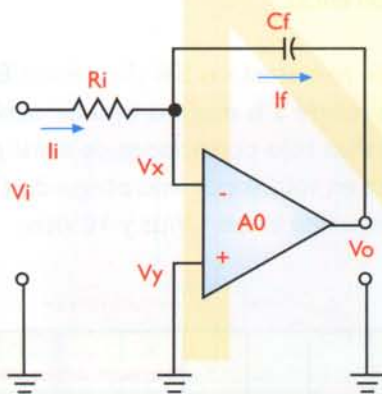


Figura 9.14. Integrador básico

siendo V_o el voltaje de salida y V_i el voltaje de entrada. La expresión « $\int V_i dt$ » significa «la integral de V_i con respecto al tiempo». Los detalles relacionados con la evaluación de integrales pueden ser consultados en cualquier texto de cálculo. Los integradores son muy utilizados como convertidores de formas de onda. Por ejemplo, si se aplica a la entrada una señal cuadrada, a la salida se obtiene una señal triangular. También son los bloques constructivos básicos de los filtros pasabajos.

Diferenciadores

Un diferenciador es un circuito que efectúa la operación contraria de un integrador. En otras palabras, mientras que la salida de un integrador es la integral de la entrada, un diferenciador realiza la operación matemática de la diferenciación, entregando una señal de salida proporcional a la derivada de la señal de entrada. En la **figura 9.15** se muestra la estructura básica de un diferenciador. Analíticamente, la relación entre el voltaje de salida (V_o) y el voltaje de entrada (V_i), se representa mediante la siguiente fórmula:

$$V_o = -R_f C_i \frac{dV_i}{dt}$$

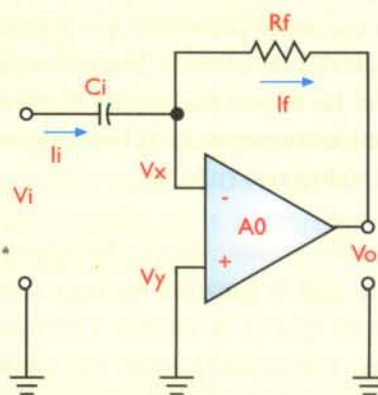


Figura 9.15. Diferenciador básico

siendo V_o el voltaje de salida y V_i el voltaje de entrada. La expresión « dV_i/dt » significa «la derivada de V_i con respecto al tiempo». Los detalles relacionados con la evaluación de derivadas pueden ser consultados en cualquier texto de cálculo. Los diferenciadores son también muy utilizados como convertidores de formas de onda. Por ejemplo, si se aplica a la entrada una señal triangular, a la salida se obtiene una onda cuadrada. También son los bloques constructivos básicos de los filtros pasaltos.

Parámetros de los amplificadores operacionales reales

Idealmente, un amplificador operacional debería tener una ganancia de lazo abierto (A_o) infinita, una impedancia de entrada (Z_i) también infinita y

una impedancia de salida (Z_o) cero. Sin embargo, los amplificadores operacionales reales no se ciñen estrictamente a estas características. En la práctica: A_o es del orden de 100 dB, Z_i es del orden de 1 M Ω a 10⁶ M Ω y Z_o es del orden de varios cientos de ohmios.

Además de los valores reales de A_o , Z_i y Z_o , los fabricantes de amplificadores operacionales incluyen en las hojas de datos de sus productos otros parámetros y figuras de mérito que permiten evaluar el comportamiento de tales dispositivos en la práctica y compararlo con el comportamiento ideal esperado. Los siguientes son algunos ejemplos.

Corriente de polarización de entrada (I_b). Se refiere a la corriente promedio que ingresa o sale de los terminales de entrada. Idealmente I_b debería ser cero. En la práctica, puede fluctuar desde unos pocos picoamperios (pA) hasta algunas decimas de microamperio (μA).

Frecuencia de transición (f_t). Se refiere a la frecuencia a la cual la ganancia de lazo abierto del dispositivo es igual a la unidad. Típicamente, un amplificador operacional tiene una ganancia de voltaje en bajas frecuencias del orden de 100 dB. Con el fin de evitar que oscile, su respuesta de frecuencia se compensa internamente de modo que la ganancia disminuya a medida que aumenta la frecuencia y sea 0 dB a la frecuencia f_t .

Típicamente, f_t es del orden de 1 MHz en amplificadores operacionales de propósito general, pero puede llegar a ser del orden de 10 MHz a 15 MHz o más en dispositivos de alta velocidad. Conociendo el valor de f_t es muy sencillo determinar la curva de respuesta de frecuencia, **figura 9.16**. En nuestro caso, por ejemplo, la ganancia de lazo abierto para 100 Hz es de 80 dB y para 1000 Hz es de 60 dB. Se dice, entonces, que la ganancia disminuye a una tasa de 20 dB por década.

Relación de rechazo de modo común (CMRR: Common-Mode Rejection Ratio). Este parámetro mide la habilidad de un amplificador operacional para

rechazar señales de modo común. Se define como la relación entre la ganancia de modo diferencial y la ganancia de modo común en bajas frecuencias. Aunque idealmente la CMRR de un amplificador operacional debería ser infinita, en la práctica es típicamente del orden de 90 dB. Entre más alta sea la CMRR, un amplificador discrimina mejor las componentes de ruido de modo común indeseables. Por regla general, los amplificadores operacionales bipolares tienen más altos valores de CMRR y rechazan mejor las señales de modo común que los provistos de entradas tipo FET.

Voltaje offset de entrada (V_{IO}). Se refiere al voltaje que debe aplicarse entre los terminales de entrada para obtener un voltaje de salida cero y así contrarrestar cualquier desbalance en la etapa diferencial de entrada del amplificador operacional. Aunque idealmente V_{IO} debería ser cero, en la práctica es del orden de unos pocos milivoltios. Si no se aplica esta corrección, el voltaje *offset* de entrada interno, una vez amplificado, puede llegar a ser suficiente para saturar la salida e impedir la amplificación eficaz.

Rapidez de respuesta o SR (Slew Rate). Este parámetro se refiere a la máxima tasa de cambio del voltaje de salida bajo condiciones de señal grande. Se especifica en voltios por microsegundo (V/ μs) y fluctúa típicamente entre 1 V/ μs y 10 V/ μs .

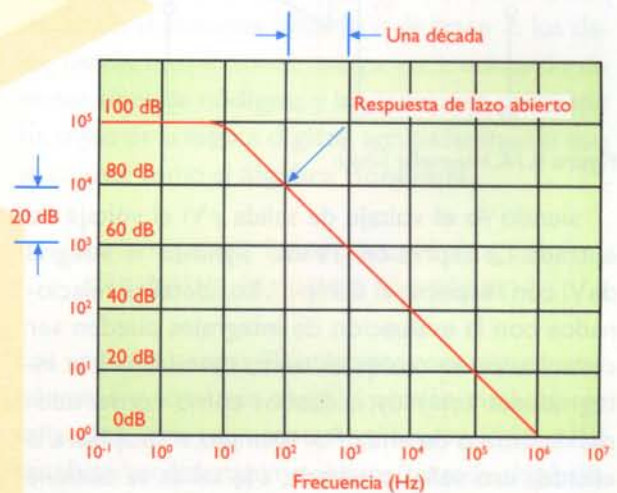
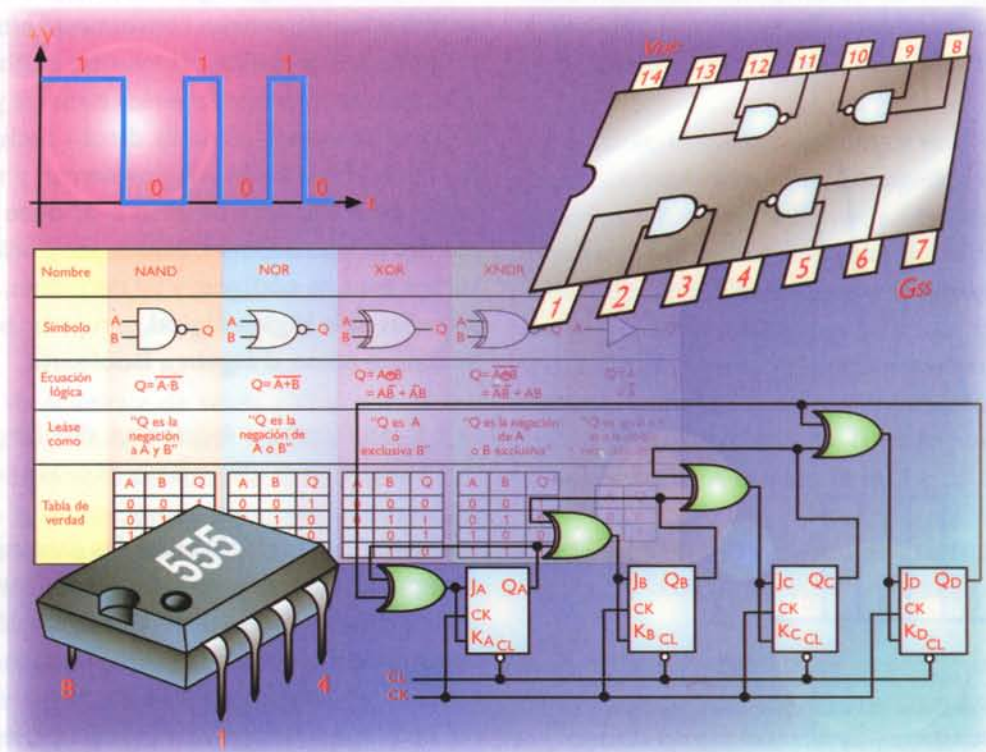


Figura 9.16. Curva de respuesta de frecuencia típica de un amplificador operacional

Lección 10

Introducción a los circuitos digitales

Los avances en el campo de la **electrónica digital**, apoyados por el milagro de la **microelectrónica** (la ciencia de fabricar circuitos integrados), han permitido el desarrollo y la fabricación masiva de relojes, computadoras, teléfonos celulares, robots, juegos, instrumentos y toda una nueva generación de aparatos y sistemas “digitales” empleados en todos los campos de la actividad humana. En esta lección estudiaremos los principios básicos de las compuertas, los *flip-flops* y otros circuitos básicos que constituyen el núcleo de la electrónica digital, una de las áreas de especialización de la electrónica de mayor progreso en los últimos tiempos.



¿Qué son los circuitos digitales?

Prácticamente todos los circuitos examinados hasta el momento son **análogos**, lo cual implica que trabajan con señales que varían en forma gradual o continua sobre un amplio rango de valores de voltaje y/o corriente, **figura 10.1a**. También existen situaciones en las cuales es necesario operar con señales de voltaje o de corriente que sólo adoptan un número **discreto** o finito de valores, **figura 10.1b**. Este tipo de señales se denominan **señales digitales** o **lógicas** y los circuitos que trabajan las mismas, **circuitos digitales** o **lógicos**. El estudio de los circuitos digitales es el marco de acción de la **electrónica digital**.

La electrónica digital es conceptualmente más sencilla que la electrónica análoga porque trabaja con componentes y señales de naturaleza **binaria**, es decir, que sólo pueden adoptar uno de dos valores, niveles o estados posibles. En la electrónica digital, estos parámetros se designan, respectivamente, como **1** (uno) o **alto** y **0** (cero) o **bajo**. En la **figura 10.2** se comparan estos conceptos. En la **figura 10.2a** se muestra un ejemplo sencillo de circuito eléctrico de naturaleza digital. En este caso, el interruptor S1 actúa como un componente **digital** porque sólo puede estar abierto (**0**) o cerrado (**1**). Asimismo, el voltaje

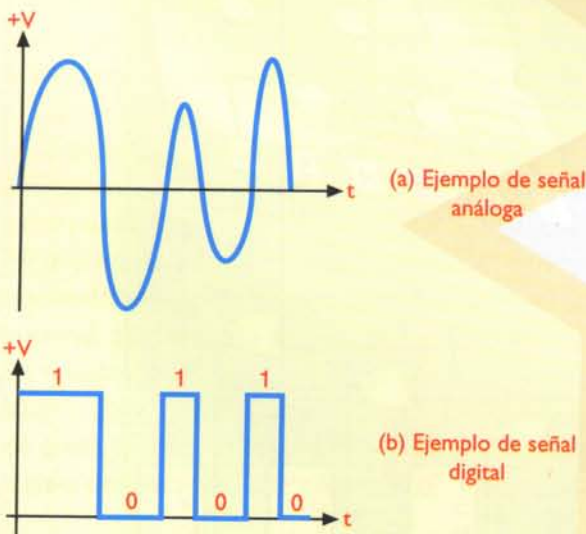


Figura 10.1. Señales análogas y señales digitales. Una señal análoga varía en forma continua sobre una gama infinita de valores, mientras que una digital lo hace en pasos discretos

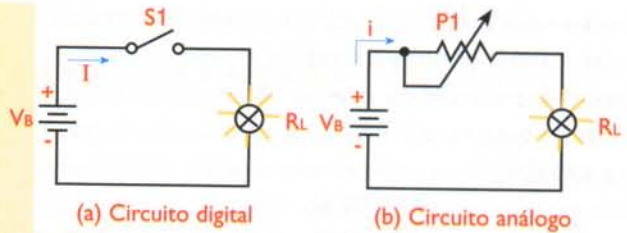


Figura 10.2. Comparación entre un circuito análogo y un circuito digital

aplicado a la lámpara (R_L) es una señal digital porque sólo puede ser 0V (**0**) cuando S1 está abierto, ó +9V (**1**) cuando S1 está cerrado. Una asignación similar de valores lógicos puede ser hecha a la corriente I a través del circuito (presente, ausente) o al estado de la lámpara (encendida o apagada).

En la **figura 10.2b** se muestra un ejemplo sencillo de circuito análogo. En este caso, el interruptor ha sido sustituido por un potenciómetro (P1), el cual actúa como un componente **análogo** cuya resistencia puede adoptar un número infinito de valores entre un mínimo y un máximo. Del mismo modo, el voltaje, la corriente y el nivel de brillo de la lámpara son cantidades análogas.

En la terminología digital, los niveles o estados lógicos **0** y **1** se denominan comúnmente **bits**. Un **bit** o un grupo de **bits** pueden representar muchos niveles diferentes de información en los circuitos y sistemas digitales, incluyendo números, datos y decisiones. Los números, en particular, se representan y manipulan utilizando el **sistema binario** o de **base 2**; los datos (letras, instrucciones, música, etc.), utilizando diversos tipos de **códigos**; y las decisiones, utilizando las reglas de la **lógica digital**, agrupadas bajo lo que se conoce como el **álgebra Booleana**.

Conceptos básicos de lógica digital y álgebra Booleana

Los unos (1) y ceros (0) utilizados para representar números y construir códigos pueden también ser utilizados para representar conceptos lógicos del tipo falso/verdadero, si/no, abierto/cerrado, alto/bajo, arriba/abajo, etc., así como para tomar decisiones del tipo "**si, entonces**", es decir, **si** una serie de cir-

cunstances particulares ocurre, **entonces** una acción particular resulta. En el caso del circuito de la **figura 10.2a**, por ejemplo, **si** el interruptor S1 está cerrado, **entonces** la lámpara RL ilumina. En otras palabras, si S1 es **1**, entonces RL es **1**.

El estudio de estos procesos de razonamiento constituye el núcleo de una disciplina filosófica conocida como **lógica**, una de cuyas ramas más importantes es el **álgebra Booleana**, la cual utiliza únicamente conceptos del tipo falso/verdadero. La aplicación de este método de razonamiento matemático al análisis y diseño de circuitos digitales, recibe el nombre de **lógica digital**. El álgebra Booleana se denomina así en honor de su creador, el matemático inglés **Georg Simon Boole** (1815-1846).

La expresión verbal de un juicio acerca de algo que puede ser falso o verdadero, por ejemplo, "está lloviendo", se denomina en lógica pura una **proposición** y corresponde en el marco del álgebra Booleana a una **variable lógica**. Las variables lógicas se identifican generalmente mediante caracteres alfabéticos o alfanuméricos (A, D3, CLR, etc.). En electrónica digital, las variables lógicas se utilizan para representar señales o condiciones que sólo pueden adoptar uno de dos estados posibles (**0=falso**, **1=verdadero**). Las variables lógicas y sus relaciones se representan, manipulan y expresan mediante tablas de la verdad, ecuaciones lógicas, símbolos lógicos y operaciones lógicas.

Una **tabla de la verdad** es una representación gráfica que contiene todas las posibles combinaciones de estados de las variables de entrada y los estados de la variable de salida resultantes de cada una. Una **ecuación lógica** es una expresión matemática que describe analíticamente la relación de cada variable de salida con las variables de entrada. Las ecuaciones lógicas se representan gráficamente mediante la combinación de uno o más **símbolos lógicos**, cada uno de los cuales describe una **operación lógica** entre un cierto número de variables de entrada.

Las operaciones lógicas básicas del álgebra Booleana son: el **producto**, la **suma** y el **complemento o inversión**, denominadas respectivamente operaciones **AND**, **OR** y **NOT**. En la **figura 10.3** se muestran los símbolos, las ecuaciones y las tablas de la verdad que describen estas operaciones fundamentales. En adición a estas operaciones básicas existen otras auxiliares, derivadas de las primeras, que se utilizan con frecuencia en el diseño de circuitos digitales. Las más importantes son la AND negada (**NAND**), la OR negada (**NOR**), la OR exclusiva (**XOR**), la OR exclusiva negada (**XNOR**) y la NOT negada (**YES**). En la **figura 10.4** se describen estas operaciones auxiliares.

Tanto las operaciones fundamentales como las derivadas son ejecutadas en la práctica por circuitos electrónicos especializados llamados **compuertas**. Las compuertas son los bloques constructivos básicos de todos los circuitos y sistemas digitales. Las compuertas, así como muchas funciones especializadas construidas a base de las mismas (*flip-flops*, decodificadores, contadores, memorias, microprocesadores, etc.), están corrientemente disponibles como circuitos integrados digitales. Dependiendo del número de compuertas utilizadas en su construcción, estos últimos pueden ser de pequeña, mediada, alta, o muy alta escala de integración.

Nombre	AND	OR	NOT																																				
Símbolo																																							
Ecuación lógica	$Q = A \cdot B = AB$	$Q = A + B$	$Q = \bar{A}$																																				
Leése como	"Q es igual a A y B"	"Q es igual a A o B"	"Q es igual a A negado"																																				
Tabla de la verdad	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>Q</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>Q</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>Q</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	Q	0	1	1	0
A	B	Q																																					
0	0	0																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	1	1																																					
A	B	Q																																					
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	1																																					
A	Q																																						
0	1																																						
1	0																																						

Figura 10.3. Operaciones lógicas básicas. Las operaciones AND y OR son aplicables a dos o más variables de entrada. La operación NOT solamente está definida para una variable de entrada.

El transistor como interruptor

Los circuitos digitales están basados en el uso de transistores, bipolares o de efecto de campo, operando como interruptores, es decir, entre el corte y la saturación. En la **figura 10.5a** se muestra como ejemplo la estructura de un interruptor básico con transistor NPN. En este caso, cuando se abre el interruptor S1, no hay corriente de base y por tanto no hay corriente de colector. Como resultado, el transistor está cortado (*off*) y la lámpara permanece apagada. Asimismo, cuando el interruptor se cierra, circulan una corriente de base (9,4mA) y una corriente de colector (100mA) y la lámpara se ilumina. En el primer caso, el punto de trabajo coincide con el de corte, mientras que en el segundo coincide con el de saturación.

Para la conmutación de cargas inductivas, por ejemplo, relés y motores, el transistor debe ser protegido mediante un diodo inversamente polarizado, conectado en paralelo con la carga, como se indica en la **figura 10.5b**. Sin el diodo, la corriente almacenada en la bobina tendería a seguir circulando a través del transistor, con lo cual se produciría un voltaje muy alto entre el colector y el emisor del mismo, capaz de destruirlo. El diodo evita que esto suceda, proporcionando un camino de baja resistencia para la circulación de esta corriente.

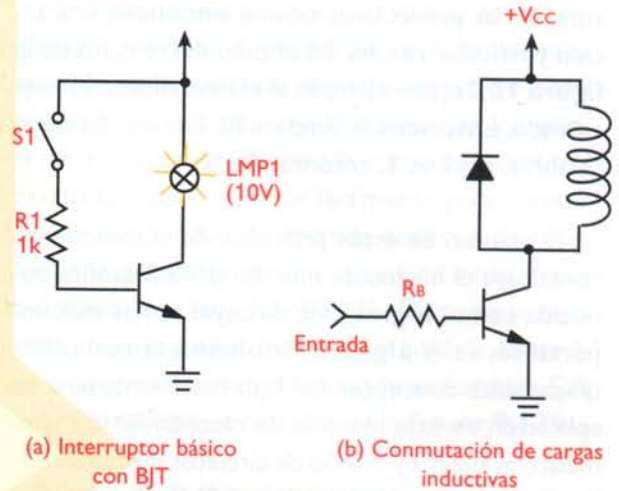


Figura 10.5. Interruptores con transistores bipolares

En la **figura 10.6a** se muestra el circuito básico de un interruptor con MOSFET. En este caso, con el interruptor en la posición superior, la compuerta recibe un voltaje alto (10V) y el MOSFET conduce, energizando la carga. Asimismo, con el interruptor en la posición inferior, la compuerta recibe un voltaje bajo (0V) y el MOSFET deja de conducir, desenergizando la carga. En el primer caso, el transistor está en el estado de saturación, mientras que en el segundo está en el estado de corte.

Los MOSFET posibilitan también la conmutación de señales analógicas, lo cual no es posible con transistores BJT. Esta situación se ilustra en la **figura 10.6b**.

Nombre	NAND	NOR	XOR	XNOR	YES																																																																		
Símbolo																																																																							
Ecuación lógica	$Q = \overline{A \cdot B}$	$Q = \overline{A + B}$	$Q = A \oplus B$ $= \overline{A}B + A\overline{B}$	$Q = \overline{A \oplus B}$ $= \overline{\overline{A}B + A\overline{B}}$	$Q = A$ $= \overline{\overline{A}}$																																																																		
Lease como	"Q es la negación de A y B"	"Q es la negación de A o B"	"Q es A o exclusiva B"	"Q es la negación de A o B exclusiva"	"Q es igual a A o a la doble negación de A"																																																																		
Tabla de la verdad	<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Q	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"> <tr><th>A</th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	Q	0	0	1	1
A	B	Q																																																																					
0	0	1																																																																					
0	1	1																																																																					
1	0	1																																																																					
1	1	0																																																																					
A	B	Q																																																																					
0	0	1																																																																					
0	1	0																																																																					
1	0	0																																																																					
1	1	0																																																																					
A	B	Q																																																																					
0	0	0																																																																					
0	1	1																																																																					
1	0	1																																																																					
1	1	0																																																																					
A	B	Q																																																																					
0	0	1																																																																					
0	1	0																																																																					
1	0	0																																																																					
1	1	1																																																																					
A	Q																																																																						
0	0																																																																						
1	1																																																																						

Figura 10.4. Operaciones lógicas derivadas. Las operaciones NAND, NOR, XOR y XNOR se aplican a dos o más variables, y la YES a una sola variable.

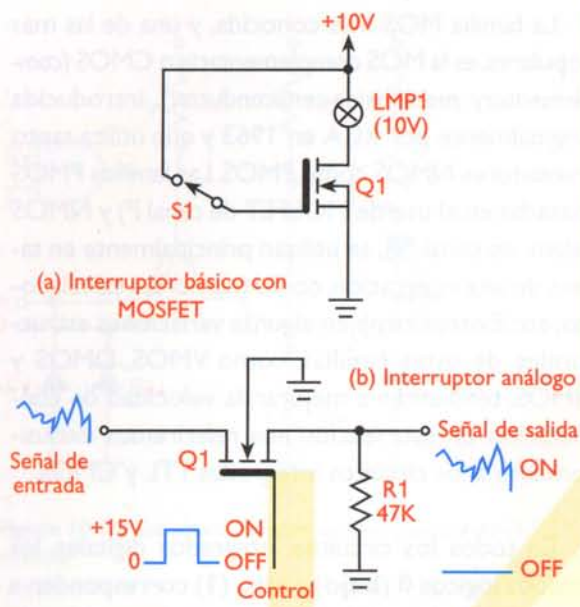


Figura 10.6. Interruptores con transistores de efecto de campo

La idea básica es conmutar el MOSFET del estado de circuito abierto al de cortocircuito, y viceversa, mediante la aplicación de un voltaje de nivel bajo (0V) o alto (+15V) en la compuerta. Así se consigue bloquear o dejar pasar la señal analógica desde la entrada hasta la salida. En el primer caso ($V_G=0V$), el MOSFET no conduce y el voltaje sobre la carga es 0V, mientras que en el segundo, el MOSFET conduce y sobre la carga aparece el voltaje de entrada.

Operaciones lógicas con transistores y diodos

Los transistores, junto con los diodos, pueden ser utilizados para efectuar fácilmente las operaciones lógicas, básicas y derivadas, descritas anteriormente. En la figura 10.7 se muestra, como ejemplo, la forma de llevar a cabo las operaciones NOT, AND, NAND y NOR utilizando exclusivamente diodos, transistores y resistencias. En todos los

casos, las variables de entrada (A y B) y de salida (Q) representan niveles de voltaje, correspondiendo un nivel **bajo** (0) a 0V y un nivel **alto** (1) a 5V.

En el caso del inversor, figura 10.7a, por ejemplo, la aplicación de un nivel **alto** en la entrada A causa que circule una corriente de base y el transistor se sature, con lo cual el voltaje en la salida Q es prácticamente 0V, correspondiente a un nivel **bajo**. Asimismo, la aplicación de un nivel **bajo** en la entrada no produce corriente de base, con lo cual el transistor se bloquea, produciéndose en la salida Q un voltaje de +5V, correspondiente a un nivel **alto**. Del mismo modo se analizan los otros circuitos.

Tenga en cuenta que un diodo conduce cuando está directamente polarizado, es decir el ánodo es positivo con respecto al cátodo, y no conduce cuando está inversamente polarizado. En el primer caso, la caída de voltaje entre sus terminales es muy baja, del orden de 0,6V, asimilable a un nivel lógico bajo (0).

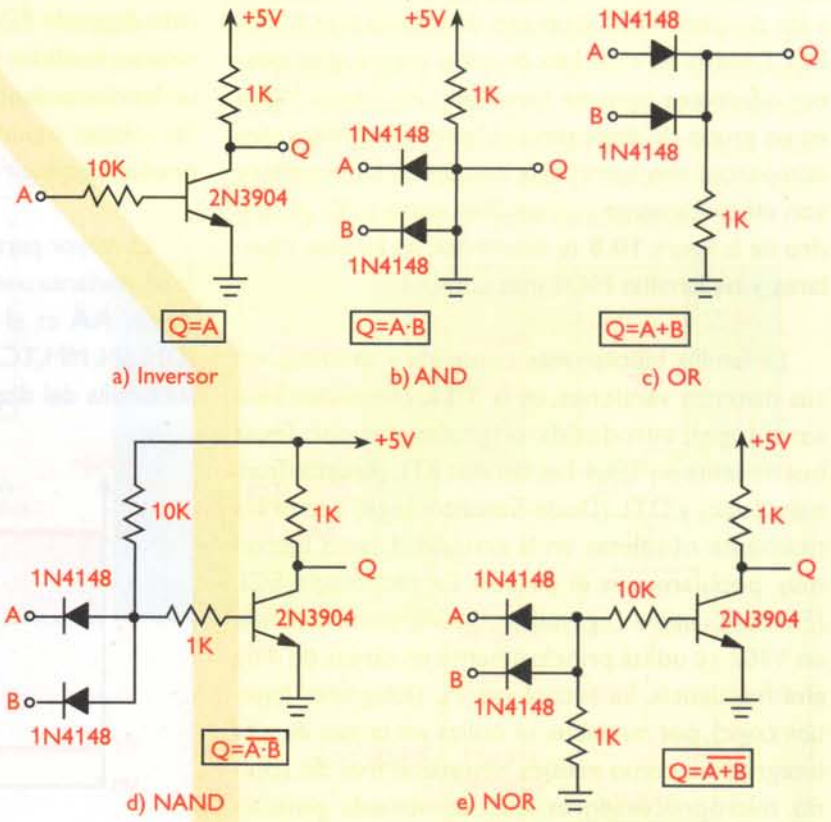


Figura 10.7. Ejemplos de compuertas lógicas discretas

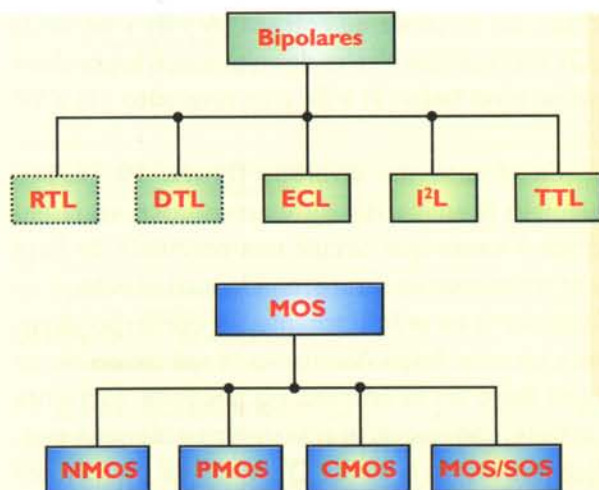


Figura 10.8. Familias lógicas de circuitos integrados digitales

Familias lógicas de circuitos integrados digitales

Los circuitos integrados digitales modernos pueden ser bipolares o MOS, dependiendo del tipo de transistores utilizados como interruptores en su manufactura. Específicamente, los circuitos bipolares están basados en el uso de transistores bipolares (BJT) y los circuitos MOS en el uso de transistores MOSFET. Dentro de cada una de estas tecnologías existen diferentes tipos de **familias**. Una familia lógica es un grupo de dispositivos lógicos integrados que comparten una tecnología común de fabricación y son eléctricamente compatibles entre sí. En el cuadro de la figura 10.8 se relacionan las familias bipolares y las familias MOS más comunes.

La familia bipolar más conocida y utilizada, en sus distintas versiones, es la **TTL** (*Transistor-Transistor Logic*), introducida originalmente por Texas Instruments en 1964. Las familias RTL (*Resistor-Transistor Logic*) y DTL (*Diode-Transistor Logic*) son prácticamente obsoletas en la actualidad, pero fueron muy populares en el pasado. La tecnología ECL (*Emitter-Coupled Logic*), introducida por Motorola en 1962, se utiliza principalmente en tareas de muy alta frecuencia. La tecnología I²L (*Integrated Injection Logic*), por su parte, se utiliza en tareas de alta integración, como relojes, sintetizadores de sonido, microprocesadores, etc., combinada generalmente con circuitos análogos.

La familia MOS más conocida, y una de las más populares, es la MOS complementaria o CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*), introducida originalmente por RCA en 1963 y que utiliza tanto transistores NMOS como PMOS. Las familias PMOS (basadas en el uso de MOSFET de canal P) y NMOS (idem. de canal N), se utilizan principalmente en tareas de alta integración, como memorias, calculadoras, etc. Existen también algunas variaciones estructurales de estas familias, como VMOS, DMOS y HMOS, tendientes a mejorar la velocidad de conmutación. En esta lección nos referiremos exclusivamente a los circuitos integrados TTL y CMOS.

En todos los circuitos integrados digitales, los estados lógicos **0** (bajo) y **1** (alto) corresponden a valores de voltaje, los cuales tienen rangos de validez definidos, separados por una zona de valores inválidos. Esta situación se ilustra en la **figura 10.9**. En este caso, el nivel **bajo** (0) válido corresponde a cualquier voltaje entre V_0 y V_1 , y el nivel **alto** (1) válido, a cualquier voltaje entre V_2 y V_3 . Típicamente, V_0 corresponde a 0V y V_3 al voltaje de alimentación, digamos +5V. Los voltajes entre V_1 y V_2 se consideran inválidos y deben evitarse porque provocan un funcionamiento errático. También deben evitarse los voltajes superiores a V_3 o inferiores a V_0 , porque pueden producir daños irreversibles.

La mayor parte de los dispositivos TTL se identifican mediante una referencia de la forma **AA74xxyy**, donde **AA** es el código que identifica al fabricante (DM, SN, MM, TC, etc), **xx** un código que identifica la subfamilia del dispositivo y **yy** un número de dos o

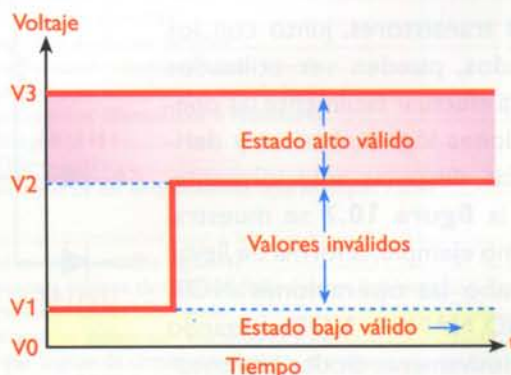


Figura 10.9. Concepto de nivel lógico

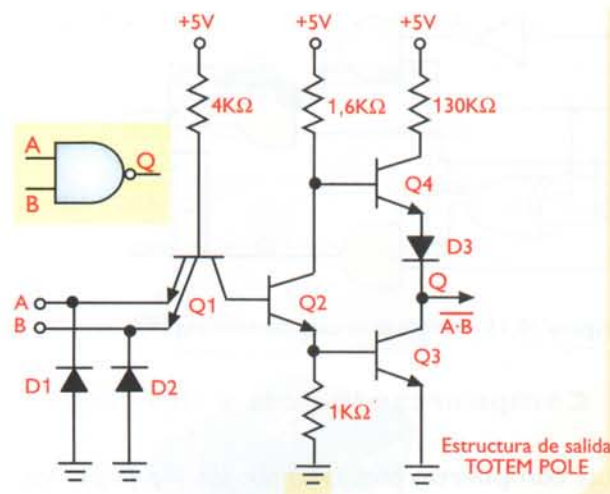


Figura 10.10. Estructura típica de una compuerta NAND TTL estándar

tres cifras que identifica la función del mismo. Ejemplos: 74LS00, 7493, 74S279, etc. Los dispositivos CMOS, por su parte, se identifican principalmente mediante referencias de las formas **AA4xxxB**, **AA74Cxx**, **AA74HCxx** y **AA74HCTxx**. Ejemplos: CD4011B, DM74C925, SN74HCT134, etc.

Tanto la familia TTL como la CMOS comprenden varias **subfamilias** que representan distintos grados de compromiso entre la velocidad de operación y el

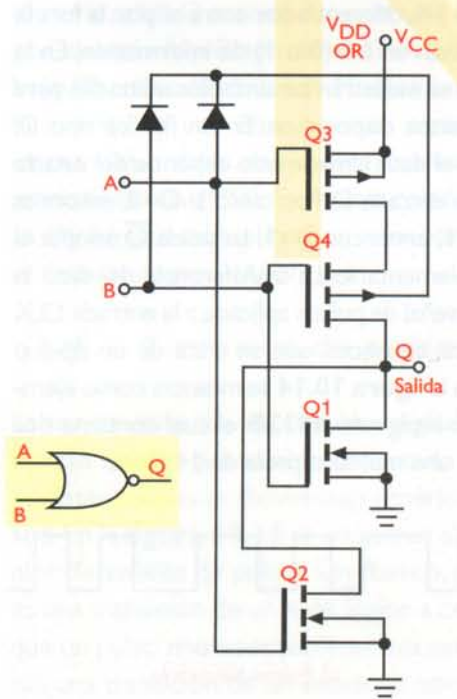


Figura 10.11. Estructura de una compuerta CMOS

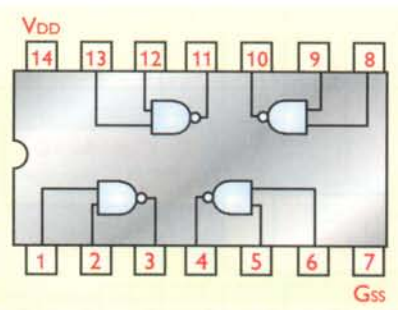


Figura 10.12. Distribución funcional del circuito integrado 4011B, el cual contiene cuatro compuertas NAND de dos entradas

consumo de potencia. En general, los circuitos integrados TTL se caracterizan por su alta velocidad y los CMOS por su bajo consumo de potencia

Las subfamilias TTL más importantes son la estándar (74), la de baja potencia (74L), la de alta velocidad (74H), la Schottky (74S), la Schottky de bajo consumo (74LS) y las Schottky avanzadas (74AS y 74ALS). En la figura 10.10 se muestra, como ejemplo, la estructura interna de una compuerta NAND TTL estándar.

Las subfamilias CMOS más importantes son la 40 (estándar), la 74C (equivalente TTL), la 74HC (alta velocidad) y la 74HCT (alta velocidad con entradas TTL). En la figura 10.11 se muestra como ejemplo la estructura de una compuerta NOR CMOS estándar. Actualmente, las subfamilias TTL y CMOS más utilizadas son la **74LS**, la **40** y la **74HC**, siendo esta última la que ofrece el mejor desempeño.

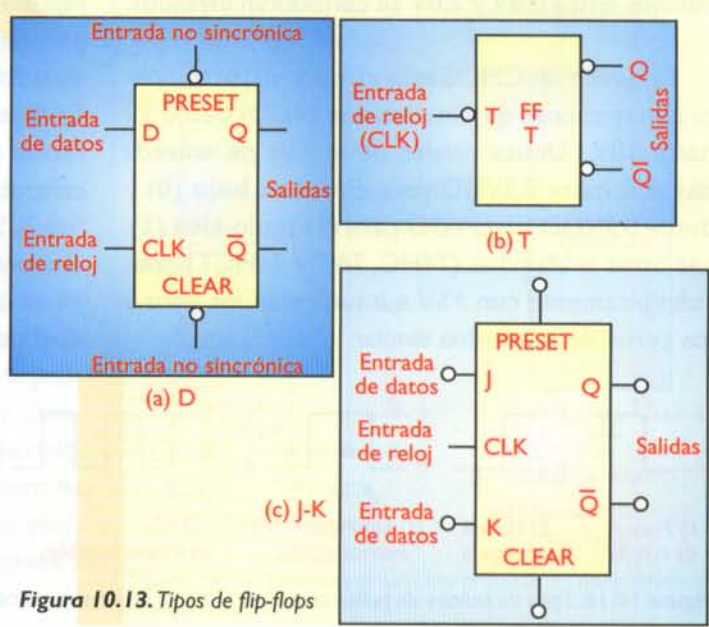
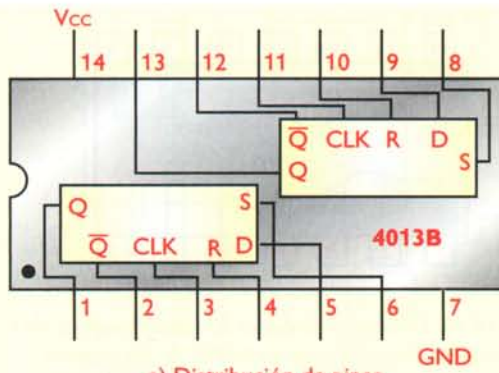
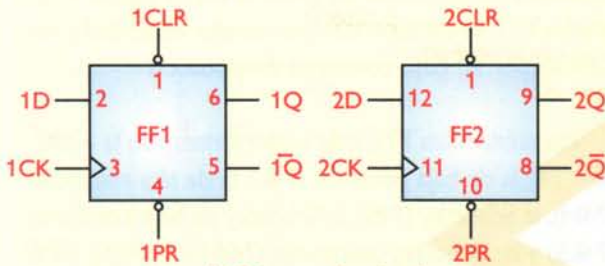


Figura 10.13. Tipos de flip-flops



a) Distribución de pines



b) Diagrama funcional

Figura 10.14. Distribución de pines (a) y diagramas funcionales (b) del circuito integrado 4013B, el cual contiene dos flip-flops tipo D en una misma cápsula

Todas las subfamilias TTL trabajan con una tensión de alimentación de +5V e interpretan los unos y los ceros de la misma forma. Específicamente, cualquier voltaje entre 0V y 0,8V corresponde a un nivel o estado **bajo (0)** y cualquier voltaje entre 2,0V y 5,0V a un nivel o estado **alto (1)**. Los voltajes entre 0,8V y 2,0V se consideran inválidos.

La subfamilia CMOS estándar, por su parte, opera con tensiones de alimentación (VDD) desde 3V hasta 18V. Utiliza niveles de voltaje de entrada desde 0 hasta 0,3VDD para el estado **bajo (0)** y desde 0,7VDD hasta VDD para el estado **alto (1)**. Las otras subfamilias (74HC, 74C y 74HCT) operan típicamente con +5V e interpretan los unos y los ceros de una forma similar.

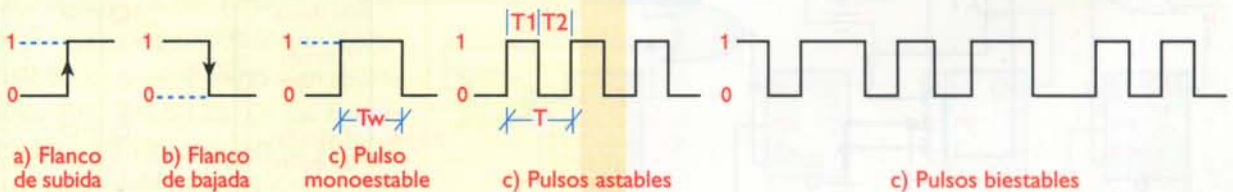


Figura 10.16. Tipos de señales de pulsos comunes utilizadas en los sistemas digitales

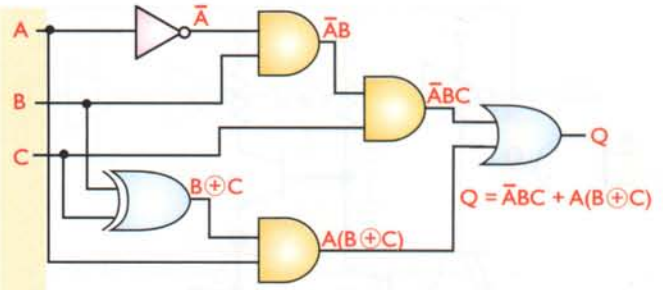


Figura 10.15. Ejemplo de circuito combinatorio

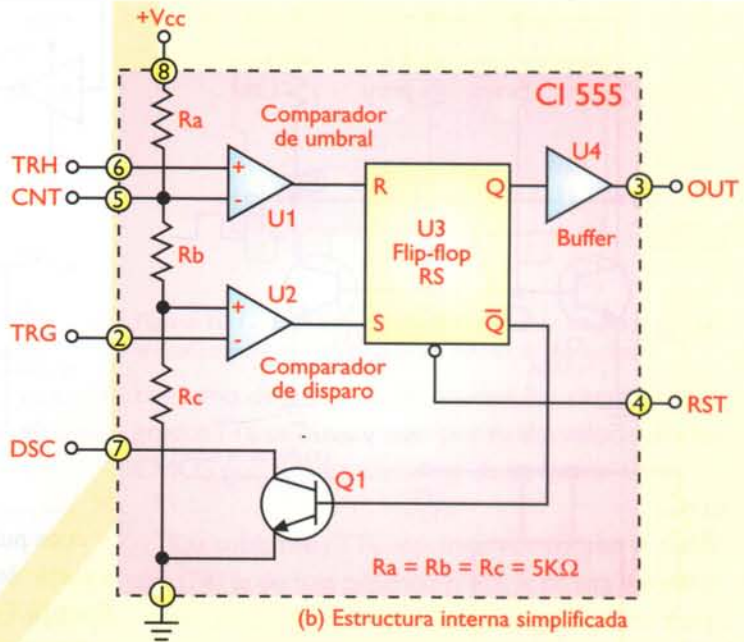
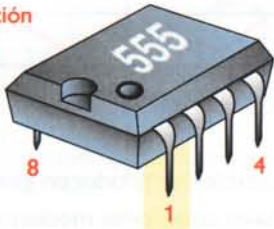
Compuertas lógicas y flip-flops

Las **compuertas** son, junto con los **flip-flops**, los bloques constructivos básicos de todos los circuitos y sistemas digitales. Las primeras efectúan decisiones u operaciones lógicas simples, mientras que los segundos almacenan bits o estados lógicos. Los principales tipos de compuertas lógicas disponibles como circuitos integrados TTL o CMOS, son la AND, la OR, la NAND, la NOR, la XOR y la XNOR, denominadas así de acuerdo a la operación lógica que efectúan. Un ejemplo representativo es el 4011B, figura 10.12, el cual incluye 4 compuertas NAND convencionales de dos entradas (NAND-2) en una cápsula de 14 pines.

Los principales tipos de **flip-flops** son el D (*data*), el T (*toggle*) y el J-K, diferenciados entre sí por la forma como almacenan un **bit** (0 o 1) de información. En la figura 10.13 se muestran los símbolos utilizados para representar estos dispositivos. En un **flip-flop** tipo D, por ejemplo, el dato almacenado depende del estado de la línea de entrada D. Por tanto, si D=0, entonces Q=0 y si D=1, entonces Q=1. La salida Q-bar adopta el estado complementario. La transferencia del dato la controla una señal de pulsos aplicada a la entrada CLK (reloj). Se dice, entonces, que se trata de un **flip-flop** síncronico. En la figura 10.14 se muestra como ejemplo el circuito integrado 4013B, el cual contiene dos **flip-flops** D en una misma cápsula de 14 pines.



(a) Distribución de pines



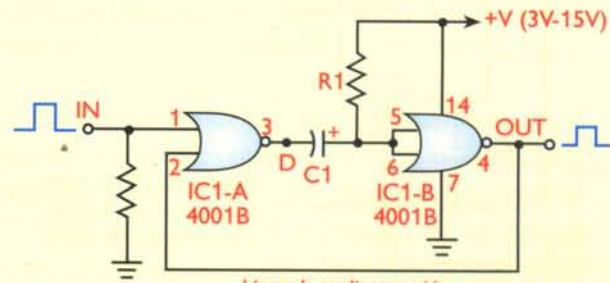
(b) Estructura interna simplificada

Figura 10.17. El circuito integrado 555

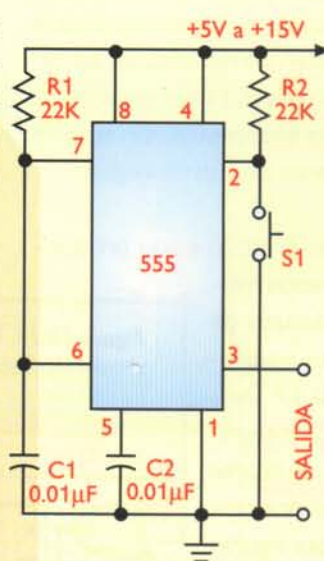
Los circuitos desarrollados exclusivamente a base de compuertas, sin elementos de memoria (*flip-flops*) en su interior, se denominan genéricamente **circuitos combinatorios** o de **lógica combinatoria**. En ellos, el estado de cada salida depende exclusivamente de la combinación de estados de las entradas. En la **figura 10.15** se muestra un ejemplo de circuito combinatorio, el cual entrega un nivel **alto** (1) en la salida Q cuando dos entradas cualesquiera, por ejemplo A y C son de nivel alto (1), y un nivel **bajo** (0) en los demás casos. Muchas funciones combinatorias de uso común están disponibles como circuitos integrados de mediana escala (MSI). Ejemplos: codificadores, decodificadores, multiplexores, sumadores, unidades aritmético-lógicas (ALU), etc.

Circuitos de pulsos

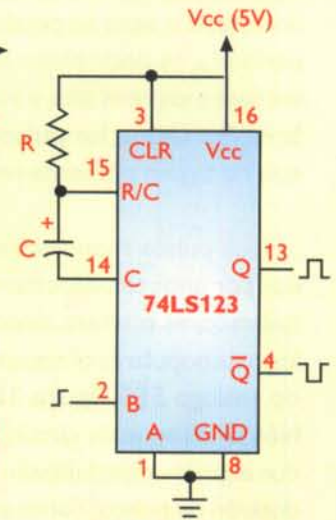
La mayor parte de los circuitos digitales prácticos utilizan señales que cambian de estado con el tiempo. Estas señales se denominan genéricamente **pulsos**. En la **figura 10.16** se muestran algunos ejemplos de señales de pulsos. Un **flanco**, por ejemplo, es una transición de un nivel lógico a otro, mientras que un pulso **monoestable** es una señal que efectúa una transición de un estado al otro y regresa a su estado inicial después de un cierto tiempo.



(a) Monoestable con compuertas

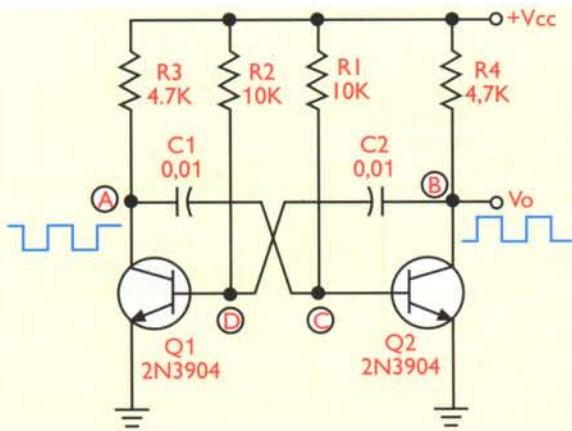


(b) Monoestable con 555

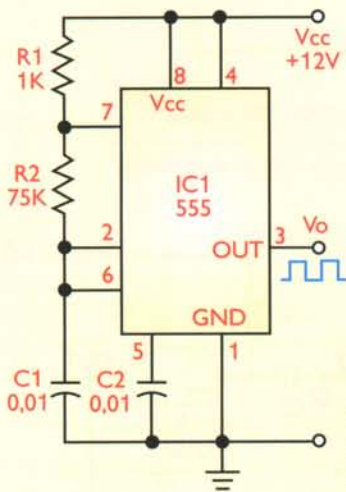


(c) Monoestable con 74LS123

Figura 10.18. Ejemplos de circuitos prácticos de multivibradores monoestables



(a) Astable con transistores

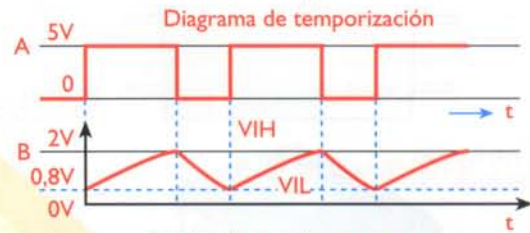
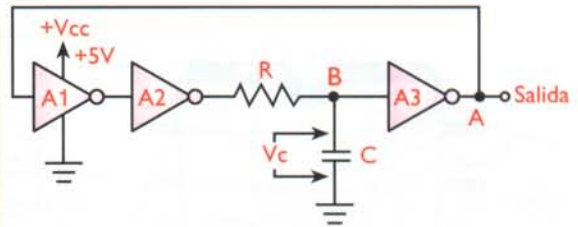


(c) Astable con 555

Figura 10.19. Ejemplos de circuitos prácticos de multivibradores astables

Los **pulsos astables**, también llamados **trenes de pulsos**, son señales en las cuales los cambios de un estado a otro se producen en forma continua y periódica, es decir, pasan alternativamente de un nivel bajo a un nivel alto, y viceversa, a intervalos regulares. Por último, los **pulsos biestables** son señales que no siguen necesariamente un patrón regular.

Los pulsos monostables y *astables* son producidos por unos circuitos llamados multivibradores o *timers*, siendo uno de los más populares el circuito integrado análogo **555**, figura 10.17. También se dispone de circuitos integrados digitales especializados en la producción de pulsos, como el monoestable TTL **74LS123**. En las figuras 10.18 y 10.19 se muestran algunos ejemplos circuitos prácticos de multivibradores monoestables y *astables*.



(b) Astable con inversores

Los pulsos biestables se producen generalmente a partir de las señales anteriores mediante el uso de *flip-flops*. Este tipo de circuitos se conocen genéricamente como **circuitos secuenciales** y se caracterizan porque el estado de la salida depende no solamente de las combinaciones de estados de las entradas, sino de la secuencia (orden en el tiempo) en la cual ocurren estas combinaciones. En la **figura 10.20** se muestra un ejemplo de circuito secuencial. Muchas funciones secuenciales de uso común y especializado están corrientemente disponibles como circuitos integrados de mediana y alta escala. Ejemplos: contadores, registros de desplazamiento, codificadores de teclados, memorias, microcontroladores, etc.

Concluimos así la sección de **teoría** del **Curso Fácil de Electrónica Básica** de **CEKIT**. Pero no todo está dicho: aún falta mucho por recorrer. Afortunadamente, usted es quién decide hasta donde quiere llegar. Cualquiera que sea su elección, cuente siempre con nosotros. Consúltenos.

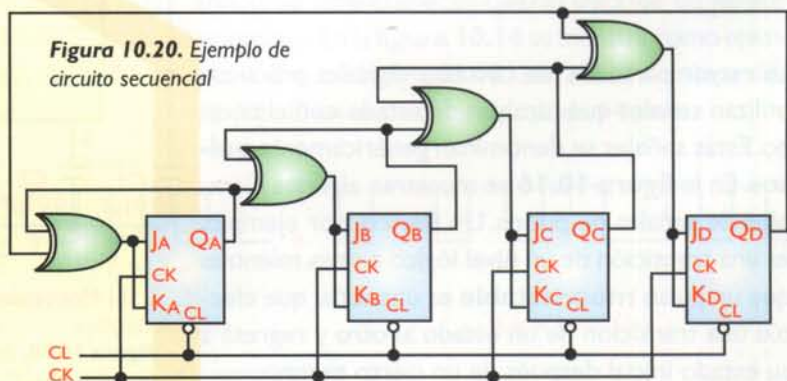


Figura 10.20. Ejemplo de circuito secuencial

Introducción general al curso	1
Lección 1. Teoría atómica y electricidad	3
Introducción	4
La materia	4
Composición de la materia	5
Estructura atómica	6
Carga eléctrica del átomo	7
Número atómico	8
Niveles de energía y distribución de los electrones en el átomo	8
Electrones de valencia	9
Electrones libres	10
Electricidad estática y dinámica	10
¿Qué es la electricidad estática?	11
Cómo crear electricidad estática	11
¿Podemos emplear la electricidad estática?	12
Experimento N°1. Manos a la obra	13
Electricidad dinámica	14
Campo eléctrico	14
Diferencia de potencial	15
Formas de producir energía eléctrica en pequeñas cantidades	17
Por frotamiento o fricción	17
Por reacciones químicas	17
Por presión o vibración	18
Por el calor y por la luz	18
Formas de producir grandes cantidades de energía eléctrica	18
Por medios magnéticos	18
Centrales eléctricas	19
Centrales hidroeléctricas	19
Centrales termoeléctricas	19
Centrales nucleares	22
Centrales solares	22
Lección 2. Conceptos básicos acerca de los circuitos eléctricos y electrónicos	25
¿Qué es un circuito eléctrico?	26
La fuente de voltaje	26
El voltaje	26
Unidad de medida	27
Conversión de unidades	27
¿Con qué se mide?	28
La carga o receptor de energía	28
Los conductores	28
Conductores más usados	29
¿Con qué se prueban?	29
Resistencia	29
Unidad de medida	30
Conversión de unidades	30
¿Con qué se miden?	31
Circuito abierto (<i>open circuit</i>)	31
Corto circuito (<i>Short circuit</i>)	31
¿Qué puede suceder si se ocasiona un cortocircuito?	32
La corriente eléctrica	32
Intensidad de la corriente	33
Conversión de unidades	33
Cómo se mide la corriente	33
Experimento N° 2. Circuito eléctrico simple	35
Lección 3. El magnetismo y el electromagnetismo	37
El magnetismo	38
Breve historia	38
Cómo se produce el magnetismo	39
Naturaleza del magnetismo	40
Características de las fuerzas magnéticas	40
¿Qué es un campo?	41
¿Qué es el campo magnético?	41
Líneas de fuerza	41
Permeabilidad magnética	41
Reluctancia magnética	41
El circuito magnético	41

Clasificación de los imanes	42
Procesos de imantación	42
Como desmagnetizar un imán	43
Experimento N°3. Campo magnético	44
El electromagnetismo	45
Historia	45
Importancia del magnetismo y el electromagnetismo	46
Las bobinas	47
Tipos de bobinas	47
Polos de un electroimán	47
Experimento N°4. El electromagnetismo	48
Lección 4. Leyes básicas de los circuitos eléctricos	49
La ley de Ohm	50
Enunciado de la ley de Ohm	50
Otras formas de representar la ley de Ohm	52
El triángulo de la ley de Ohm	53
Análisis de un circuito eléctrico mediante la ley de Ohm	54
Problemas de aplicación de la ley de Ohm	55
Experimento N°5. La ley de Ohm	56
Concepto de potencia eléctrica	58
Concepto de fuerza	58
Concepto de trabajo	58
Concepto de energía	58
Energía potencial	58
Energía cinética	58
Energía calórica	58
Energía radiante	59
Energía química	59
Energía eléctrica	59
Concepto de potencia	59
La ley de Watt	59
Ejemplos de aplicaciones de la ley de Watt	60
Triángulo de la ley de Watt	61
Combinación de las leyes de Ohm y Watt	62
Problemas de aplicación de la ley de Watt	62
Lección 5. Circuitos en serie, paralelo y mixtos	65
Introducción	66
Circuitos en serie con resistencias	66
Corriente en un circuito en serie	67
Voltajes en un circuito en serie	67
Resistencia total o equivalente de un circuito en serie	68
Circuitos en paralelo con resistencias	70
Resistencia total o equivalente de un circuito en paralelo	71
Circuitos mixtos con resistencias	73
Resistencia total o equivalente en circuitos mixtos	73
Voltajes y corrientes en un circuito mixto	75
Potencia en circuitos en serie, en paralelo y mixtos	76
Experimento 5.1. Análisis de circuitos con resistencias en serie, en paralelo y en configuraciones mixtas	77
Conexión de pilas en serie y en paralelo	83
Conexión de condensadores en serie y en paralelo	83
Conexión de bobinas en serie y en paralelo	84
Lección 6. Conceptos básicos de corriente alterna (CA) y corriente continua (CC)	85
Introducción	86
Corriente alterna	87
Concepto de ciclo. Valores angulares	87
Concepto de período	89
Concepto de frecuencia	89
Relación entre frecuencia y período	90
Valores de una onda seno	90
Concepto de valor instantáneo	90
Concepto de valor pico y de valor pico a pico	91
Concepto de valor promedio	91
Concepto de valor efectivo o rms. Definición de factor de forma	91
Concepto de ángulo de fase. Relaciones de tiempo de ondas seno	92

Generadores de corriente alterna	94
Segunda parte. Corriente continua	98
Formas de producir una CC	98
Lección 7. Las fuentes de alimentación	101
Introducción	102
Estructura de una fuente de alimentación	102
Tipos de fuentes de alimentación	103
Fuentes de alimentación no reguladas	104
El circuito de entrada	105
El transformador	109
El circuito rectificador	111
Tipos de rectificadores	111
El rectificador de media onda	112
Experimento 7.1. Rectificador de media onda	114
El rectificador de onda completa con transformador de toma intermedia	117
Experimento 7.2. Rectificador de onda completa con transformador de toma intermedia	118
Rectificador de onda completa tipo puente	120
Puentes rectificadores integrados	121
Filtros para rectificadores	122
Rectificador de onda completa con filtro	124
Experimento 7.3. Rectificador de onda completa tipo puente con filtro de condensador	125
Otros tipos de filtros	129
Fuentes de alimentación reguladas	129
Reguladores de voltaje con diodo Zener	130
Reguladores de voltaje con diodo Zener y transistor	131
Fuentes de alimentación con reguladores de tres terminales ..	132
Fuentes reguladas fijas	133
Fuentes de alimentación reguladas variables	135
Experimento 7.4. Experimentando con reguladores de voltaje (<i>voltage regulators</i>) de tres terminales	137
Lección 8. Amplificadores y otros circuitos con transistores	141
¿Qué son los transistores?	142
Tipos de transistores	142
Transistores bipolares	143
Cómo funciona un transistor bipolar. Polarización (<i>polarization</i>)	143
Curvas características de un transistor	145
Experimento 8.1. Obtención de las curvas características de un transistor	146
Concepto de recta de carga	151
Concepto de punto de trabajo	152
Esquemas mejorados de polarización	153
Polarización de emisor	154
Polarización por divisor de tensión	155
Otros tipos de polarización	158
Amplificadores de señales	160
Tipos de amplificadores	161
Características de los amplificadores	162
Ganancias de voltaje, corriente y potencia	162
Resistencias o impedancias de entrada y de salida	163
Ancho de banda y respuesta de frecuencia	163
Distorsión	164
Polarización	165
Amplificadores de baja señal con transistores	165
Amplificador de baja señal en emisor común	166
Acción de los condensadores de acople y desacople	167
Análisis sistemático	167
Análisis para corriente continua	168
Análisis para señal	168
Impedancia de entrada (Z_i)	169
Funcionamiento con señal pequeña	169
Ganancia de voltaje (A_v)	171
Impedancia de salida (Z_o)	172
Ganancia de corriente	173

Ganancia de potencia	174
Ancho de banda	174
Experimento 8.1. Análisis de un amplificador de baja señal en emisor común	177
Amplificadores de baja señal en base común	188
Amplificadores de baja señal en colector común. Seguidores de emisor	191
Circuitos prácticos con transistores (I)	196
Amplificadores de baja señal con transistores de efecto de campo	201
Características de entrada y salida de los FET de unión	202
Características de polarización de los JFET. Polarización compuerta	204
Polarización mediante divisor de tensión	205
Polarización mediante dos fuentes de alimentación	205
Autopolarización	206
Polarización de compuerta con referencia (<i>offset</i>)	207
Polarización mediante fuente de corriente constante	208
Circuito equivalente de baja señal de un amplificador con JFET	208
Configuraciones básicas de amplificadores con JFET	209
Análisis de amplificadores de baja señal con JFET	211
Circuitos prácticos de amplificadores de baja señal con JFET	212
Amplificadores multietapa	214
Análisis de un amplificador de dos etapas	216
Amplificadores de potencia con transistores	218
Características y especificaciones de los amplificadores de potencia	218
Operación de amplificadores de potencia en clase A	219
Operación de amplificadores de potencia en clase B	221
Circuitos en contrafase o <i>push-pull</i>	222
Amplificadores de simetría complementaria con polarización por diodos	223
Amplificadores de simetría complementaria con estabilización térmica	223
Amplificadores de simetría complementaria con transistores Darlington	225
Amplificadores de simetría complementaria con <i>bootstrapping</i>	227
Cálculo de disipadores de calor para amplificadores de potencia	227
Concepto de resistencia térmica	228
Circuitos prácticos con transistores (II). Amplificadores de potencia	230
Lección 9. Amplificadores operacionales	233
¿Qué es un amplificador operacional?	234
Estructura interna	234
Circuito equivalente. Características generales	235
Presentaciones usuales	236
Relaciones de fase en un amplificador operacional	236
Operación en lazo abierto. Comparadores	236
Operación en lazo cerrado. Concepto de realimentación	238
Amplificadores inversores. Concepto de tierra virtual	238
Amplificadores no inversores	239
Seguidores de voltaje	240
Técnicas de anulación de <i>offset</i>	240
Alimentación mediante fuente sencilla	241
Amplificadores sumadores o mezcladores	242
Amplificadores diferenciales o restadores	242
Integradores	242
Diferenciadores	243
Parámetros de los amplificadores operacionales reales	243
Lección 10. Introducción a los circuitos digitales	245
¿Qué son los circuitos digitales?	246
Conceptos básicos de lógica digital y álgebra Booleana	246
El transistor como interruptor	248
Operaciones lógicas con transistores y diodos	249
Familias lógicas de circuitos integrados digitales	250
Compuertas lógicas y flip-flops	252
Circuitos de pulsos	253

Lección I

Los componentes electrónicos

En la electrónica, como en cualquier otra tecnología o actividad que desarrollemos, resulta mucho más fácil comprender el funcionamiento de un sistema si conocemos la naturaleza y la función de cada uno de los elementos que lo conforman. Los componentes electrónicos son los elementos básicos de los circuitos; dentro de éstos, cada componente cumple una función específica dependiendo de su tipo y de la forma como esté conectado con los demás.



Los sistemas electrónicos

Miremos un ejemplo sencillo de un sistema u organización como una orquesta o grupo musical; sabemos que existen de muchos tipos, sinfónicas, filarmónicas, de salsa, merengue y de rock, entre otras. Observando su formación, todas ellas pueden dividirse en grupos más pequeños dependiendo de la forma en que éstos se agrupan, vientos, percusión, voces, cuerdas, etc. Y a su vez, cada uno de estos grupos está conformado por varios instrumentos que, aunque son accionados de la misma forma, tienen unas características particulares que los diferencian de los demás. Por ejemplo, dentro del grupo de los vientos, se pueden tener saxofones, flautas, trompetas, tubas, trombones, etc. Y si miramos bien, aunque en todas las agrupaciones no deben existir todos los tipos de instrumentos antes mencionados, aquellas en las que los hay son siempre iguales. No podemos decir que un saxofón es diferente si está interpretando una cumbia o un merengue.

Igual sucede con un aparato electrónico: las radios, los amplificadores, los juegos de luces, las alarmas, etc., están configurados por unos grupos más pequeños llamados circuitos, que cumplen una función particular, y éstos a su vez están configurados por varios componentes electrónicos, tal como se muestra en la **figura 1.1**. Aunque todos los sistemas no están conformados por los mismos circuitos, si hay algunos que son comunes y todos están conformados prácticamente por los mismos componentes, bajo diferentes condiciones de operación.

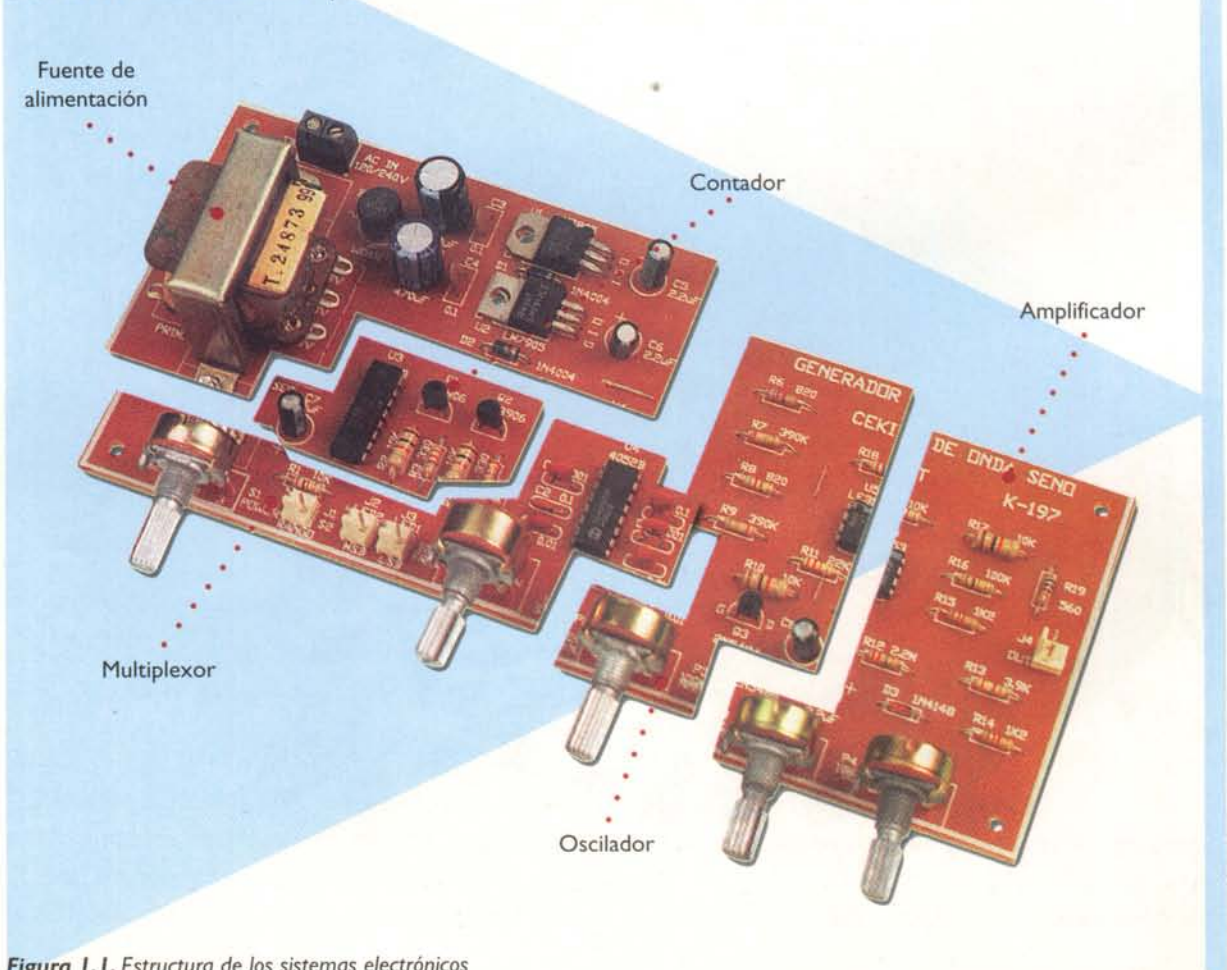


Figura 1.1. Estructura de los sistemas electrónicos



En la **figura 1.2** podemos observar un ejemplo de un sistema electrónico en el cual se muestran los principales componentes empleados en su ensamblaje y se describe brevemente su función. En las lecciones siguientes se tratarán a fondo éstos y otros componentes de uso común en electrónica.

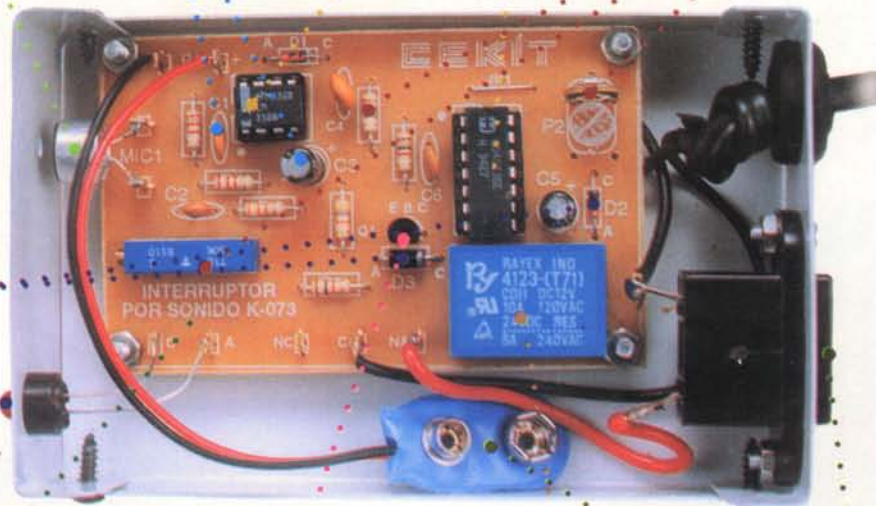
TRANSDUCTORES:
convierten un tipo de energía en otra.

CONDENSADORES:
almacenan energía eléctrica en forma temporal.

CIRCUITOS INTEGRADOS:
reemplazan circuitos completos que se fabricaban con muchos componentes comunes, principalmente diodos y transistores.

RESISTENCIAS:
se oponen al paso de la corriente.

DIODOS:
permiten el paso de la corriente en una sola dirección.



CIRCUITOS IMPRESOS:
interconectan los componentes de un circuito y los sostienen físicamente de manera estable.

TRANSISTORES: tienen dos funciones o aplicaciones principales. Como amplificadores de señales o como interruptores electrónicos.

INTERRUPTORES:
permiten o interrumpen el paso de la corriente por un circuito.

CONECTORES:
permiten la entrada y salida de señales hacia todos los dispositivos electrónicos

Figura 1.2. Principales componentes electrónicos

Componentes

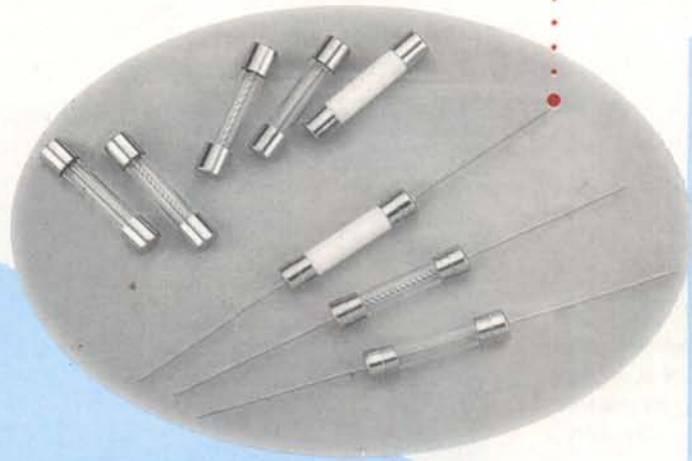
Otros componentes

PILAS Y BATERÍAS: almacenan y suministran energía eléctrica para que funcionen los circuitos.



FUSIBLES: son dispositivos de protección empleados para proteger los circuitos electrónicos contra sobrecorrientes

CONDUCTORES: transportan señales de corriente o de voltaje de un punto a otro



BOBINAS: se oponen a los cambios bruscos en la dirección de la corriente.



Podemos concluir entonces, que el estudio de la electrónica no es complicado porque:

- Aunque los sistemas electrónicos están conformados por una gran cantidad de componentes, éstos son de muy pocos grupos o tipos.
- Dichos componentes se encuentran agrupados en bloques llamados circuitos, los cuales también son de muy pocos tipos.



Clasificación de los componentes electrónicos

Básicamente todos los componentes electrónicos están clasificados dentro de dos grandes grupos, **componentes pasivos** y **componentes activos**; y estos a su vez pueden dividirse en otros grupos, dependiendo de sus características de funcionamiento.

Los **componentes pasivos** son aquellos que no pueden contribuir con la ganancia de energía o amplificación para un circuito o sistema electrónico. Éstos no tienen acción de control y no necesitan ninguna otra entrada más que una señal para ejecutar su función. A este grupo pertenecen las resistencias, los condensadores, las bobinas, los conectores, los interruptores y los conductores. Pueden dividirse en:

Componentes pasivos lineales:

son llamados así porque se comportan linealmente con la corriente o el voltaje, es decir, si aumenta o disminuye el voltaje, la corriente también aumenta en la misma proporción y viceversa. A este grupo pertenecen las resistencias, los condensadores y las bobinas. **Figura 1.3**



Figura 1.3. Componentes pasivos lineales



Figura 1.4. Componentes electromecánicos

Componentes electromecánicos: son componentes pasivos que ejecutan funciones eléctricas simples a partir de movimientos mecánicos externos o internos. A este grupo también pertenecen los dispositivos que tienen funciones de soporte mecánico y de interconexión eléctrica. Podemos contar entre estos a los conducto-

res, los interruptores, los conectores y los circuitos impresos, entre otros. **Figura 1.4**

Los componentes activos:

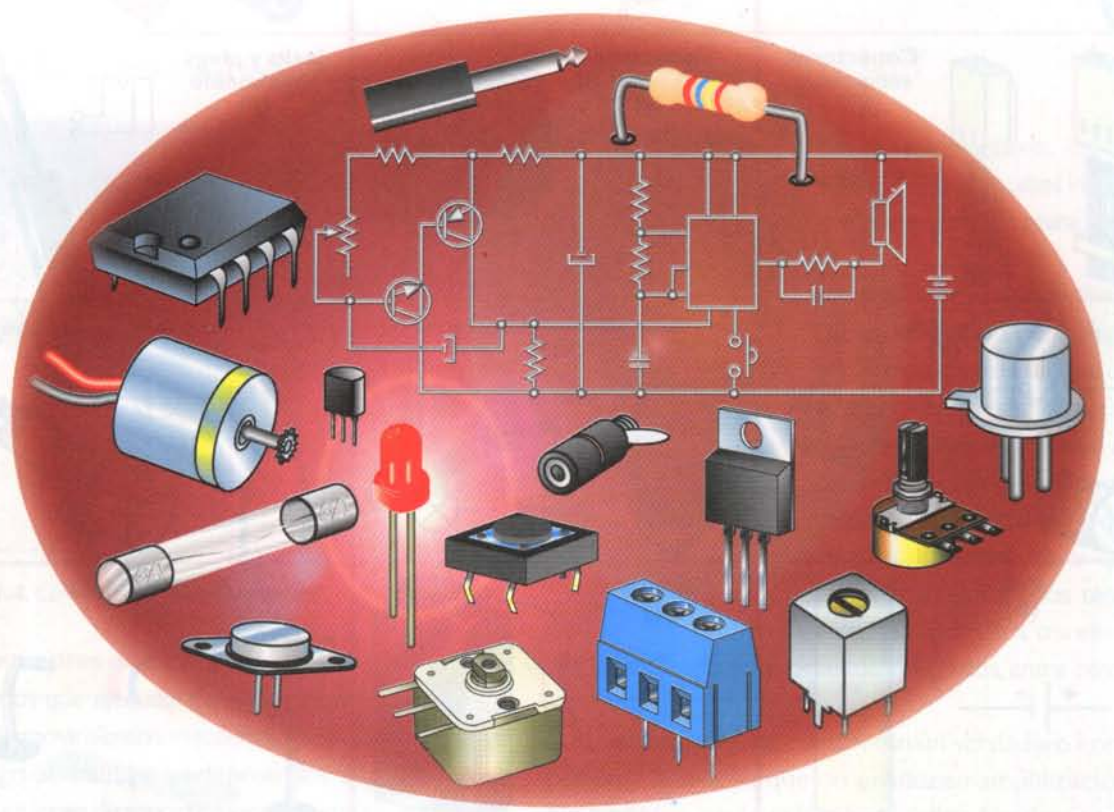
son aquellos que tienen la capacidad de controlar voltajes o corrientes y que pueden crear una acción de amplificación o de conmutación, ésta es el intercambio de una señal entre dos estados en el circuito al que pertenecen. Entre ellos tenemos los diodos, los transistores, los tiristores y los circuitos integrados, entre otros.

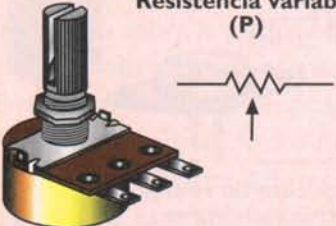
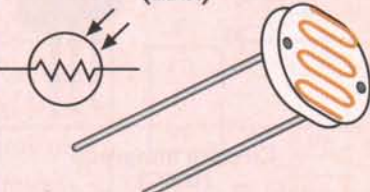
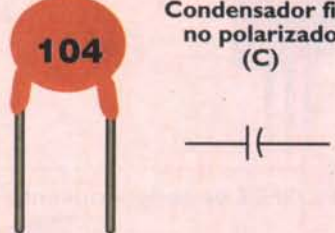
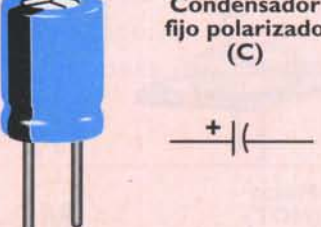
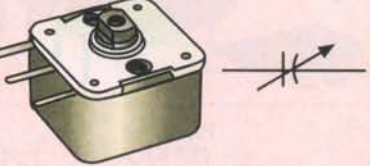
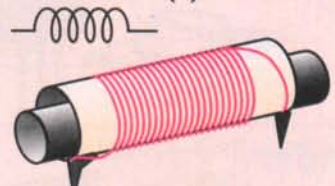
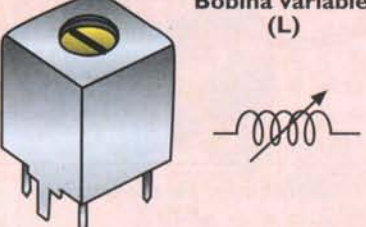

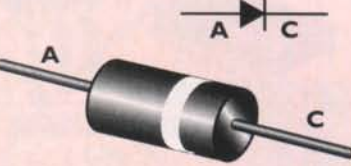
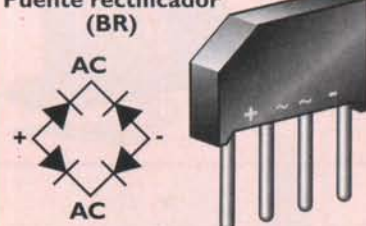
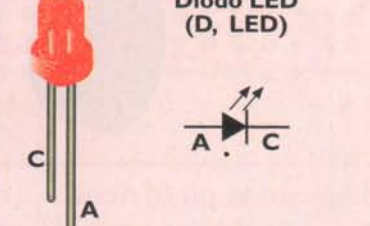
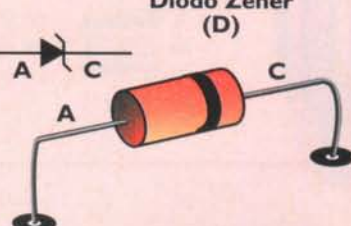
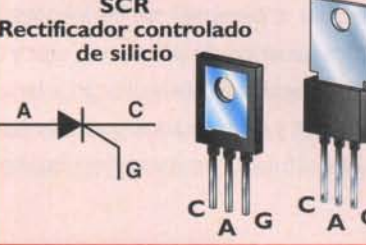
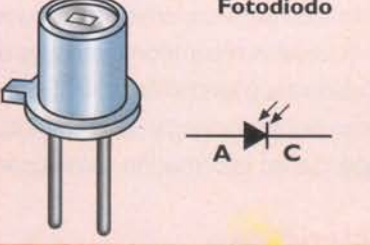
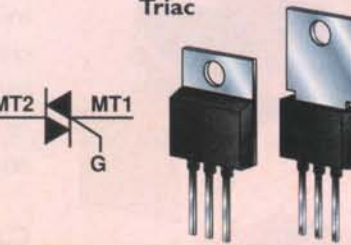
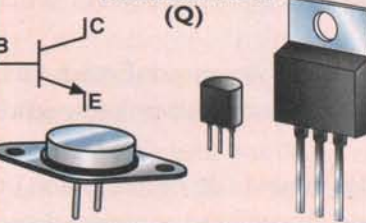
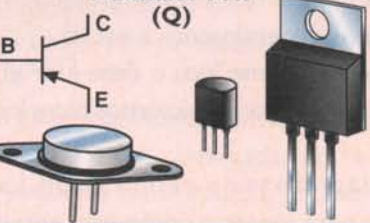
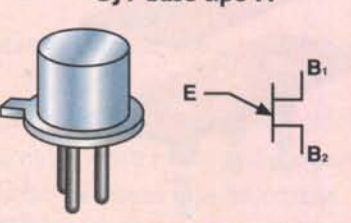
Los diodos no se consideran un verdadero componente activo ya que no producen amplificación. Sin embargo, están más relacionados con éstos por su naturaleza semiconductor.

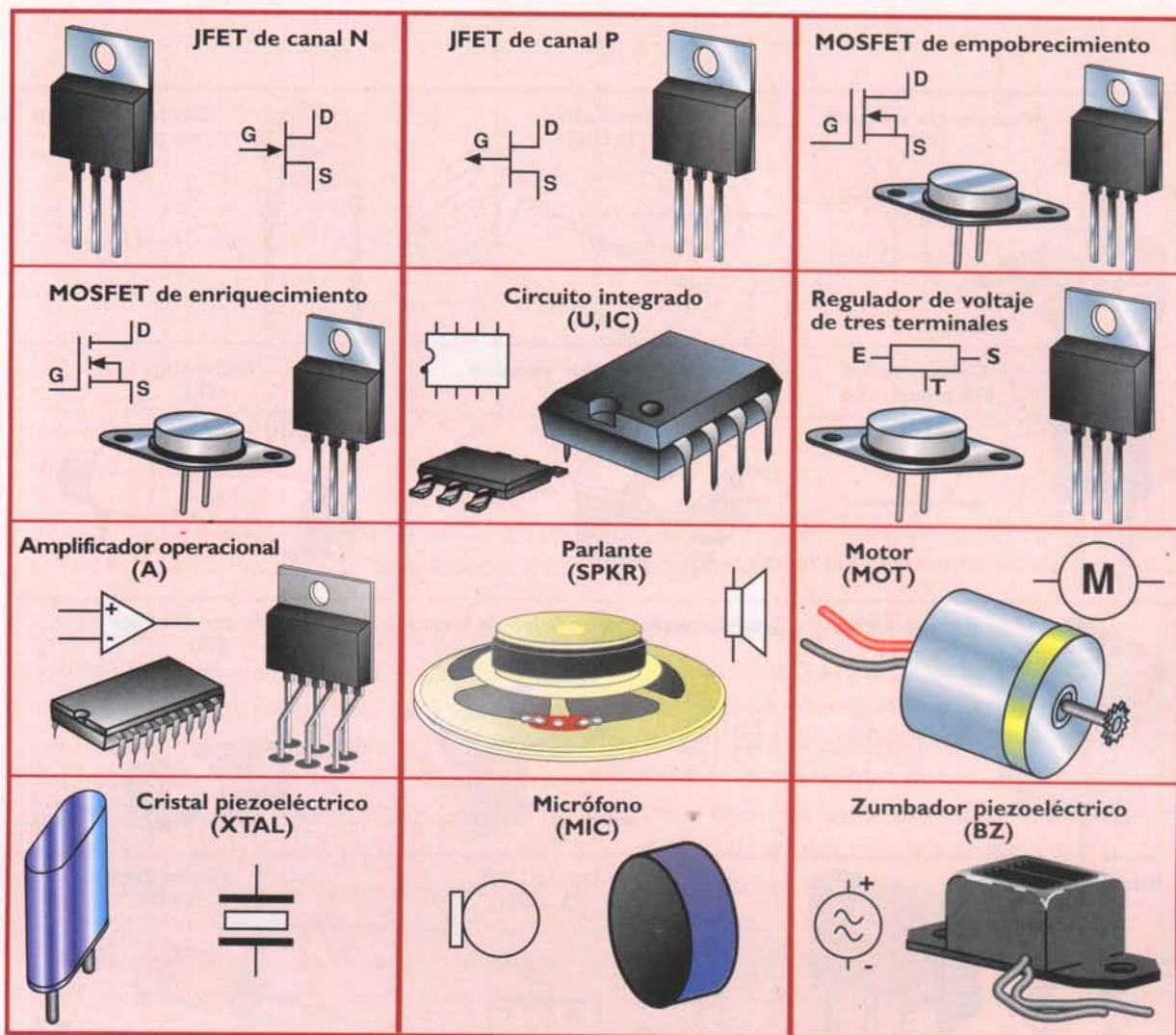
Lección 2

Símbolos y diagramas electrónicos

Debido a la necesidad de dibujar los componentes electrónicos agrupados formando circuitos, y teniendo en cuenta lo dispendioso y poco práctico que es el dibujarlos tal y como son en la realidad, se estableció la necesidad de representarlos mediante un símbolo gráfico universal que facilite las labores de diseño y elaboración de diagramas que se utilizan ampliamente para el estudio de esta tecnología, para la fabricación y reparación de los aparatos.



<p>Resistencia variable (P)</p> 	<p>Fotocelda (LDR)</p> 	<p>Condensador fijo no polarizado (C)</p> 
<p>Condensador fijo polarizado (C)</p> 	<p>Condensador variable (C)</p> 	<p>Bobina fija (L)</p> 
<p>Bobina variable (L)</p> 	<p>Transformador con núcleo de hierro (T)</p> 	<p>Diodo rectificador (D)</p> 
<p>Puente rectificador (BR)</p> 	<p>Diodo LED (D, LED)</p> 	<p>Diodo Zener (D)</p> 
<p>SCR Rectificador controlado de silicio</p> 	<p>Fotodiodo</p> 	<p>Triac</p> 
<p>Transistor NPN (Q)</p> 	<p>Transistor PNP (Q)</p> 	<p>UJT base tipo N</p> 



Los diagramas pictóricos

Son la forma más elemental de representación de los circuitos electrónicos. Son muy utilizados para transmitir información técnica a personal no especializado como aficionados, reparadores casuales o simples usuarios de productos electrónicos, debido a la gran claridad que ofrecen en las conexiones. Sin embargo, además de ocupar demasiado espacio, son muy dispendiosos y complicados para dibujar y no proporcionan información técnica clara sobre el funcionamiento del circuito.

Características:

- Los componentes están dibujados como son realmente, con sus dimensiones generalmente a escala.
- Muestran como luce o debe lucir el circuito una vez armado. Existen varios tipos de diagramas pictóricos entre los cuales podemos destacar los siguientes:

Los diagramas de exploración. Lamados también de despiece. Son utilizados para mostrar como está ensamblado un conjunto conformado por varias partes individuales. La **figura 2.2** muestra un ejemplo típico.

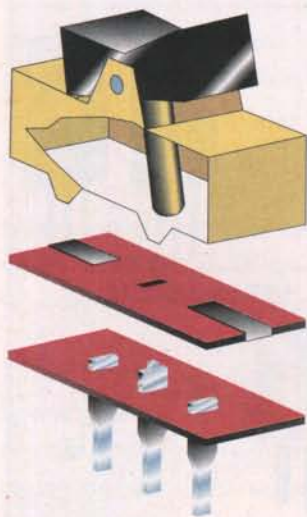


Figura 2.2. Diagrama de exploración o despiece

Las guías de instalación de componentes. Representan los componentes montados sobre la placa de circuito impreso o el tablero de conexiones (*proto-board*). En ellos los componentes pueden estar representados por su forma física real o su silueta. En la **figura 2.3** encontramos un ejemplo de este tipo, en el cual se muestra un mismo circuito montado sobre la placa impresa (a), y sobre el tablero de conexiones, (b).

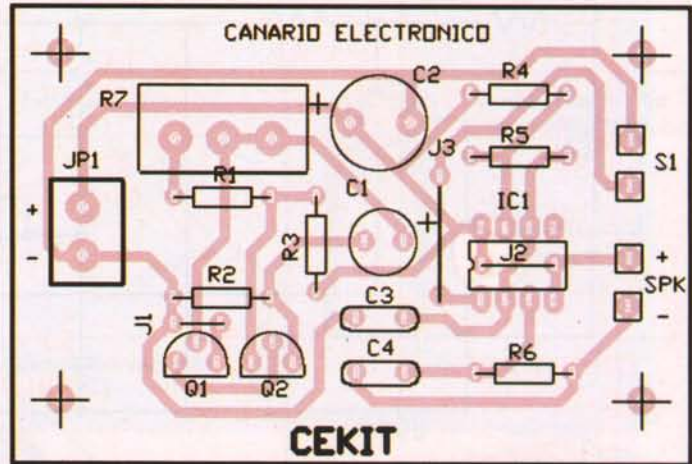


Figura 2.3a. Diagrama pictórico

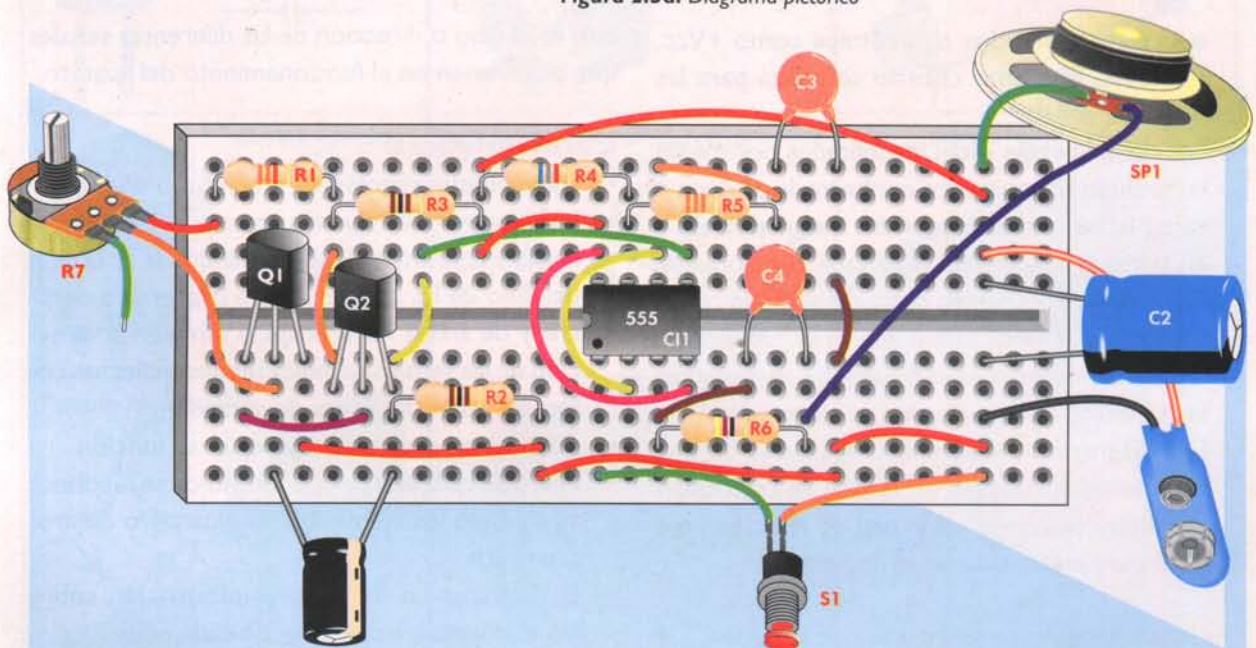


Figura 2.3b. Diagrama pictórico

Los diagramas esquemáticos

Son el lenguaje universal de la comunicación en electrónica, puesto que son más explícitos, pequeños, fáciles de dibujar, ocupan menos espacio y son menos dispendiosos.

Características:

- Los componentes se representan mediante su símbolo.
- Los conductores o las conexiones entre componentes se representan mediante líneas rectas horizontales o verticales.
- Para indicar que dos o más líneas están conectadas entre sí, se dibuja un punto en su intersección.
- Para indicar que dos líneas cruzadas no están conectadas entre sí, simplemente no se coloca punto en la intersección o se dibuja un pequeño semicírculo o arco en una de las líneas que se cruzan.
- Para evitar saturar el diagrama con líneas y hacerlo más fácil de leer, cuando varias de ellas deben ir conectadas a las líneas de alimentación o de tierra se utilizan símbolos de tierra y puntas de flechas



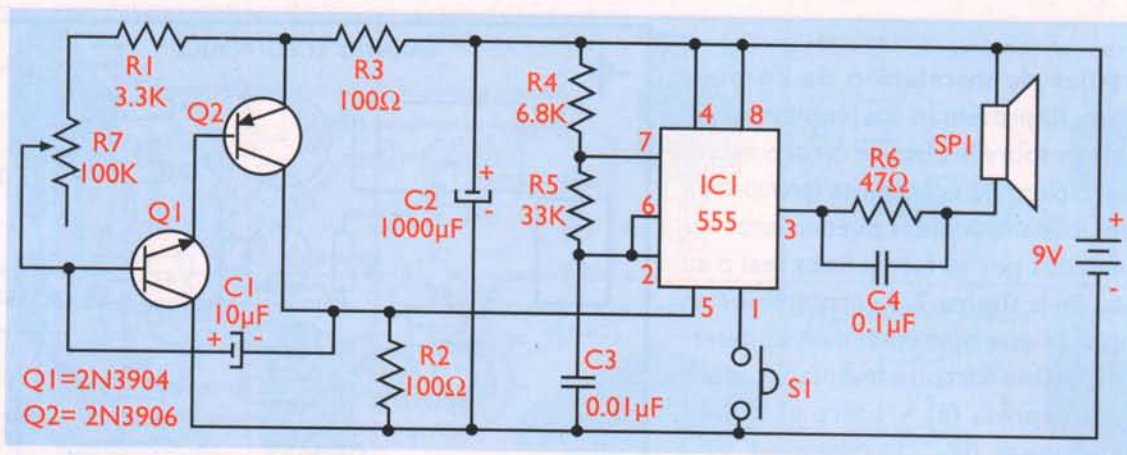


Figura 2.4. Diagrama esquemático

o círculos marcados con rótulos como +Vcc, +Vss, etc. El mismo criterio se utiliza para las líneas de señal.

- Los componentes están identificados por medio un símbolo alfa-numérico conformado por una o varias letras que correspondan a su naturaleza y un número que individualiza cada componente. Éste debe colocarse tan cerca del símbolo como sea posible y de tal forma que se pueda leer de izquierda a derecha. En la **figura 2.1** se muestran los símbolos más empleados en electrónica.
- Los diagramas deben ir acompañados de una lista de componentes en la cual se relacionan los símbolos con el valor real de ellos. Esto se hace para evitar saturar el diagrama.

Como ejemplo de lo anterior, en la **figura 2.4** se muestra el diagrama esquemático correspondiente al circuito representado en forma pictórica en la **figura 2.3**.

Nota importante: La ubicación de los componentes en el diagrama esquemático no indica necesariamente la posición real en el circuito, ni su símbolo está representado por el tamaño físico.

Los diagramas de bloques

Representan en forma simplificada la forma como se relacionan los circuitos que componen un sistema, sin detallar su estructura interna. Se utilizan principalmente para clarificar el funcionamiento de un sistema, establecer cuáles circuitos lo conforman y

cuál es el flujo o dirección de las diferentes señales que intervienen en el funcionamiento del aparato.

Características:

- Cada bloque representa un circuito o etapa.
- Los bloques están unidos entre sí por medio de líneas y colocados de tal forma que la dirección del flujo de las señales sea de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, o también la dirección de las señales se indica mediante flechas colocadas sobre las líneas de conexión.
- Cada etapa está marcada según su función.
- Fuera de cada bloque pueden indicarse mediante su símbolo los elementos de ajuste y/o control asociados.
- El diagrama no da ninguna información sobre los elementos empleados en cada etapa.

El diagrama de bloques es el primer paso para el diseño de un proyecto electrónico, pues para elaborarlo no es necesario poseer muchos conocimientos en electrónica; basta con saber lo que se quiere y analizar cada una de las funciones que cumple.

En la **figura 2.5** se muestra el diagrama de bloques del circuito que se representó anteriormente.

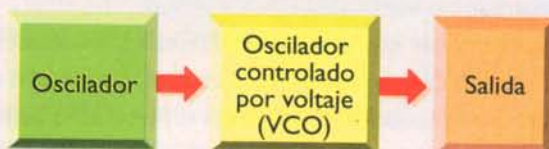


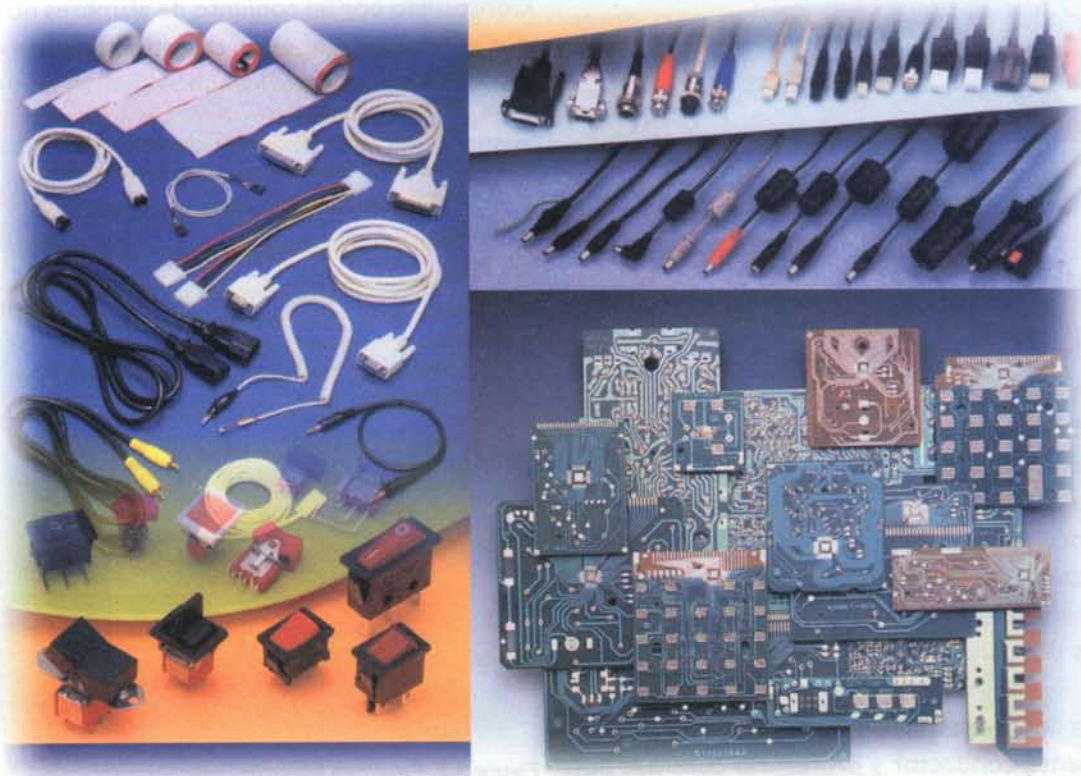
Figura 2.5. Diagrama de bloques

Lección 3

Los componentes electromecánicos

En esta lección estudiaremos en detalle los principales componentes electromecánicos utilizados en los sistemas y circuitos electrónicos, haciendo énfasis en los conductores eléctricos; los interruptores y los conectores. Para cada uno explicaremos sus símbolos, sus funciones y los principales tipos existentes en el mercado.

Estos componentes son muy importantes ya que permiten la interconexión interna y externa de los circuitos y sistemas, tanto eléctricos como electrónicos. Aunque su función es simple, es clave para su correcto funcionamiento, aunque algunas veces no se les da la importancia que se merecen.



Los conductores eléctricos

Éstos pertenecen a la clasificación de los componentes electromecánicos, son dispositivos pasivos que efectúan funciones eléctricas simples, en este caso de interconexión entre componentes en un circuito eléctrico o electrónico, y transportan señales de voltaje o corriente de un punto a otro, sin pérdidas apreciables donde su característica más importante es su baja resistencia. Los mejores conductores son los metales, siendo el más utilizado el cobre; para aplicaciones muy especiales se utilizan, el oro, la plata y el aluminio.

Los conductores se usan en forma de alambre, cable, cordones, cables apantallados o blindados, cables multiconductores, y conductores en forma de trazos o líneas en las tarjetas de los circuitos impresos, que estudiaremos con mayor profundidad en la Lección 4.

En la actualidad muchos sistemas electrónicos han sustituido los cables metálicos convencionales por cables de fibra óptica, los cuales transportan señales eléctricas de un punto a otro en forma de pulsos de luz, en lugar de hacerlo por portadores de carga (electrones).

Clasificación de los conductores eléctricos

Por su construcción realmente hay dos tipos principales:

Alambre

Constituidos por un solo hilo metálico de forma cilíndrica llamado alma, pueden estar desnudos o revestidos con una cubierta aislante. La parte conductora es metálica generalmente de cobre blanco recocido, aunque en algunos casos especiales se utilizan el oro y la plata en electrónica, y el aluminio para el transporte de la energía eléctrica a grandes distancias, por ser más liviano.

El fin del revestimiento es aislar eléctricamente el elemento conductor y protegerlo contra la hu-



Figura 3.1. Estructura básica del alambre

medad, la oxidación, el calor y otras condiciones externas, y la más importante, evitar que haga contacto con otros conductores.

Cuando no se utilizan conductores aislados es muy fácil crear accidentalmente condiciones de cortocircuito, las cuales, además de alterar el funcionamiento normal de los sistemas pueden llegar a ser catastróficas. El aislamiento también permite identificar las funciones de los conductores por su color y grabar sobre él los códigos de aislamiento, el número del conductor, el máximo voltaje de trabajo, la máxima temperatura de operación y otros datos que puedan interesar al usuario. **Figura 3.1**

Cable

Constituido por un conjunto de alambres no aislados entre sí. Puede estar revestido por una o varias capas de aislante. Se subdividen en dos grandes grupos:

a. Cable formado por varios alambres gruesos enrollados en forma de hélice o trenza y se denominan trenzados. Se utilizan para hacer conexiones permanentes no sometidas a flexiones, pero sí a trabajos pesados. Estos conductores se emplean en usos industriales para tareas donde se maneja mucha potencia. **Figura 3.2**



Figura 3.2. Estructura básica del cable trenzado

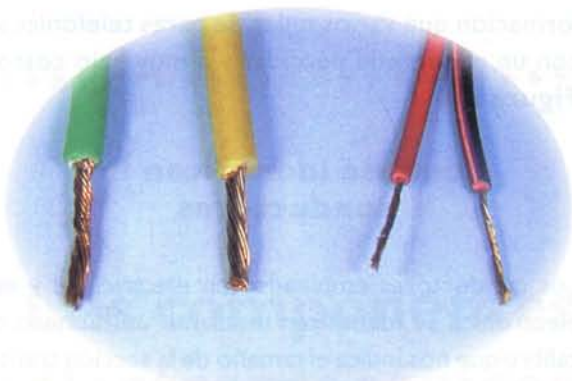


Figura 3.3. Cable multifilar

b. Cable formado por varios alambres muy delgados, prácticamente hilos o filamentos denominado cable multifilar. En electrónica el más utilizado es el multifilar sencillo con diferentes espesores y colores en el aislamiento. **Figura 3.3**

Hay otros importantes, dependiendo de sus características constructivas y las tareas para las cuales fueron diseñados, los más comunes son:

Cables multiconductores: están formados por varios alambres individuales, sólidos o multifilares aislados entre sí y envueltos en una chaqueta co-

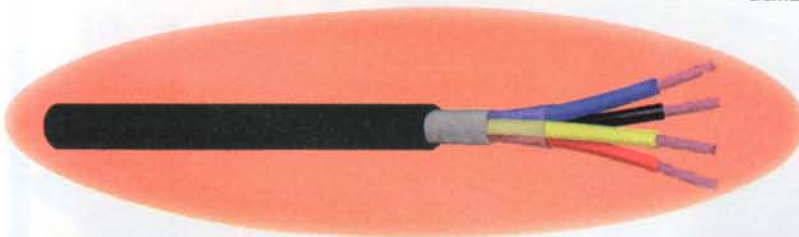


Figura 3.4. Cables multiconductores

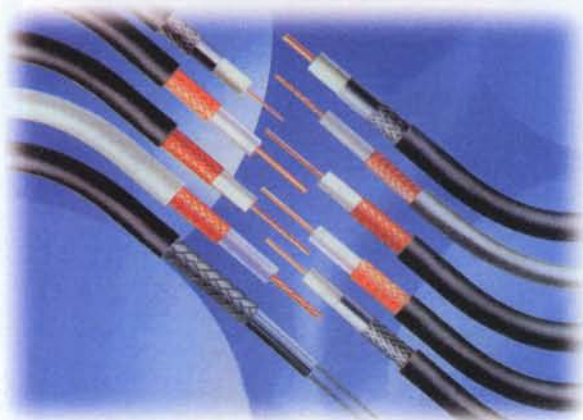


Figura 3.5. Cable coaxial o blindado

mún. El aislamiento de los alambres individuales es de diferente color para facilitar su identificación. Se emplean en comunicaciones, audio y computadoras, entre otros. **Figura 3.4**

Cables coaxiales o blindados: están formados por un conductor central o alambre multifilar rodeado por una cubierta de polietileno gruesa, llamada *dieléctrico*, sobre la cual se encuentra un segundo conductor trenzado en forma de malla, llamado *blindaje*. Se emplean en comunicaciones, video y aplicaciones de alta frecuencia. **Figura 3.5**

Cables ribbon o tipo cinta: en la actualidad son muy utilizados. Están constituidos por varios conductores individuales dispuestos en forma de cinta y unidos por sus aislamientos. Se utilizan en computadoras, televisores en color, equipos de sonido, etc. Vienen formados por 10, 14, 16, 20 y hasta 60 cables al mismo tiempo y llevan en uno o en los dos extremos un conector especial enchufable. **Figura 3.6**

Cordones de alimentación: son llamados cables *duplex*, es decir, dos cables al tiempo pero aislado el uno del otro, terminan en clavijas moldeadas que se utilizan para energizar los aparatos desde el tomacorriente, en algunas extensiones, etc. Se diseñan muy flexibles para soportar las torceduras usuales cuando se manipulan productos portátiles. **Figura 3.7**

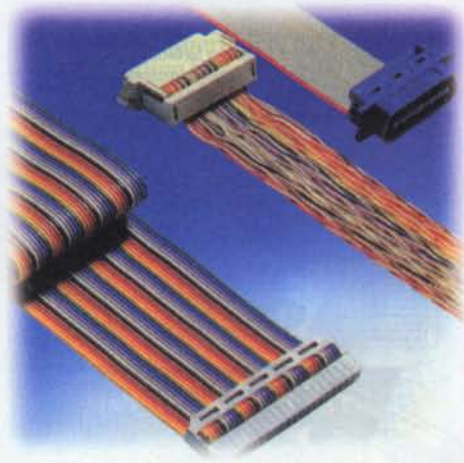


Figura 3.6. Cable ribbon o de cinta



Figura 3.7. Cables de alimentación

Cables de fibra óptica: transportan señales eléctricas de un punto a otro en forma de pulsos de luz. Están constituidos por:

- El núcleo o conductor óptico, es un hilo muy delgado de plástico o fibra de vidrio.
- La corteza, un anillo refractor de luz también de plástico o de fibra de vidrio.
- La chaqueta, una envoltura protectora de caucho o plástico.

Es muy utilizado en comunicaciones. Un solo cable de fibra óptica puede transportar más in-

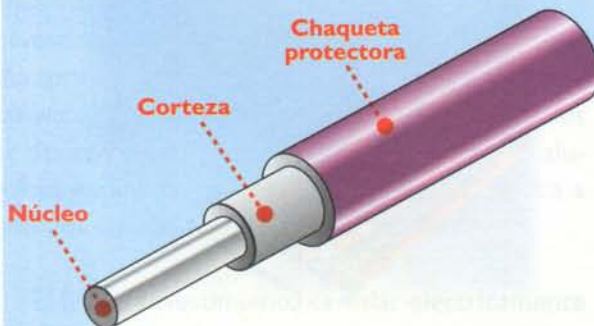
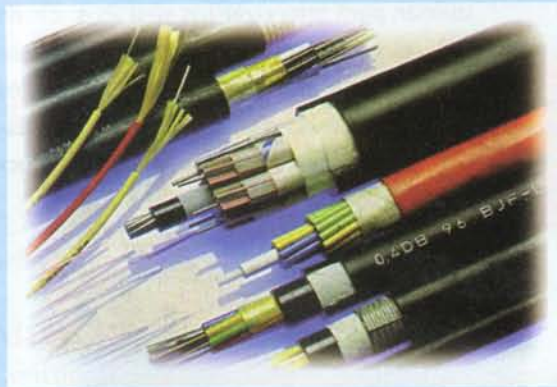


Figura 3.8. Cables de fibra óptica

formación que varios miles de pares telefónicos, con un mínimo de pérdidas y a muy bajo costo.
Figura 3.8

Cómo se identifican los conductores

Los conductores empleados en electricidad y en electrónica se identifican mediante un número o calibre que nos indica el tamaño de la sección transversal en términos del diámetro y el área de la misma. Figura 3.9

En los países americanos se toma como referencia el sistema de numeración A.W.G. (American Wire Gauge). El rango de numeración del sistema A.W.G. se extiende desde el conductor número 40, que es el más delgado y tiene un diámetro de 0,079 mm hasta el número 0000 ó 4/0 (cuatro ceros) que es el más grueso, con un diámetro de 11,43 mm.

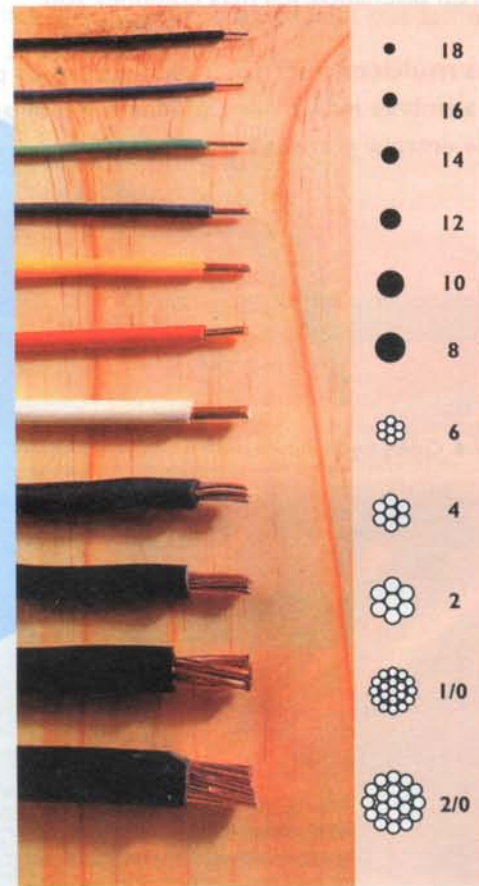


Figura 3.9. Calibre de los conductores

La cantidad máxima de corriente que puede transportar un conductor en forma segura, sin sobrecalentarse ni causar una excesiva caída de voltaje, se conoce técnicamente con el nombre de *ampacidad*, la cual se mide en amperios. La ampacidad depende principalmente del diámetro del material del conductor y del tipo de aislamiento. **Tabla I**

Por ejemplo, si observamos la tabla:

- Un calibre #40 soporta una corriente de 0,02 amperios.

- Un calibre #14 soporta una corriente de 15 amperios.
- Un calibre #4/0 soporta una corriente de 195 amperios.

Otra característica distintiva de los conductores, que se debe tener en cuenta al seleccionarlos para una determinada aplicación, es el tipo de aislamiento, que determina el máximo voltaje que puede manejar un alambre dado, en forma segura, así como las condiciones ambientales extremas (temperatura y humedad) en que puede trabajar.

Los interruptores

Los interruptores son elementos que permiten, interrumpen o dirigen el paso de la señal eléctrica por un determinado circuito. Además de ser empleados para controlar la alimentación de los circuitos, existen otros modelos empleados en diversos usos.

Aunque la función de estos componentes parece bastante simple, en el momento de elegirlos debemos tener en cuenta una serie de parámetros de gran importancia, puesto que al interrumpir bruscamente una corriente eléctrica se producen ciertos fenómenos que debemos conocer y analizar. Debido a la poca atención que se presta en la elección y mantenimiento de estos componentes, son con frecuencia los causantes de los daños en los sistemas o equipos electrónicos.

¿Qué es un interruptor?

Los interruptores, en general, están formados por dos puntos o superficies conductoras fijas y un contacto móvil, que son conectados eléctricamente por un mecanismo de accionamiento que puede ser operado de diversas formas, ya sea por deslizamiento, por palanca, por

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES DE COBRE SEGÚN LA NORMA A.W.G (American Wire Gauge)							
CALIBRE A.W.G M.C.M	DIAM.		SECCIÓN O ÁREA		PESO	RESIST.	AMPACIDAD
	En mm	En M.C.M	En mm ²	En Kg/Km	En Ohm/Km a 20°C	En Amperios	
Ej.3 → 0000	11,68	211600	107,20	953,20	0,164	195	
000	10,40	167800	85,01	755,80	0,203	165	
00	9,26	133100	67,43	599,50	0,256	145	
0	8,25	105600	53,49	475,50	0,322	125	
1	7,34	83690	42,41	377,00	0,407	110	
2	6,54	66360	33,62	298,90	0,512	95	
3	5,82	52620	26,67	237,10	0,646	85	
4	5,18	41740	21,15	188,00	0,814	70	
5	4,62	33090	16,77	149,00	0,029	60	
6	4,11	26240	13,30	118,20	1,296	55	
7	3,66	20820	10,55	93,80	1,634	45	
8	3,26	16510	8,36	74,38	2,060	40	
9	2,90	13090	6,63	58,95	2,598	35	
10	2,58	10380	5,26	46,77	3,274	30	
11	2,30	8230	4,02	37,10	4,134	25	
12	2,05	6530	3,31	29,40	5,209	20	
13	1,82	5180	2,63	23,40	6,572	17,5	
Ej.2 → 14	1,62	4110	2,08	18,50	8,284	15	
15	1,45	3260	1,65	14,70	10,176	7,2	
16	1,29	2580	1,31	11,60	13,176	6	
17	1,15	2050	1,04	9,24	16,614	4	
18	1,02	1620	0,82	7,32	20,948	3,2	
19	0,91	1290	0,65	5,81	26,414	2,6	
20	0,81	1020	0,51	4,61	33,201	2,0	
21	0,72	812	0,41	3,66	41,9	1,62	
22	0,64	640	0,32	2,88	53,2	1,28	
23	0,57	511	0,25	2,30	66,6	1	
24	0,51	404	0,20	1,82	84,2	0,8	
25	0,45	320	0,16	1,44	106,0	0,64	
26	0,40	253	0,12	1,14	135,0	0,5	
27	0,36	202	0,10	0,909	169,0	0,4	
28	0,32	159	0,08	0,715	214,0	0,32	
29	0,28	128	0,064	0,575	266,0	0,26	
30	0,25	100	0,050	0,450	340,0	0,2	
31	0,22	79,2	0,040	0,357	430,0	0,16	
32	0,20	64	0,032	0,288	532,0	0,12	
33	0,18	50,4	0,025	0,227	675,0	0,1	
34	0,16	39,7	0,020	0,179	857,0	0,08	
35	0,14	31,4	0,015	0,141	1090,0	0,06	
36	0,12	25	0,013	0,013	1360,0	0,042	
37	0,11	20,2	0,010	0,091	1680,0	0,036	
38	0,10	16	0,008	0,072	2130,0	0,032	
Ej.1 → 39	0,08	12,2	0,006	0,055	2780,0	0,024	
40	0,07	9,61	0,004	0,043	3540,0	0,02	

Tabla I.

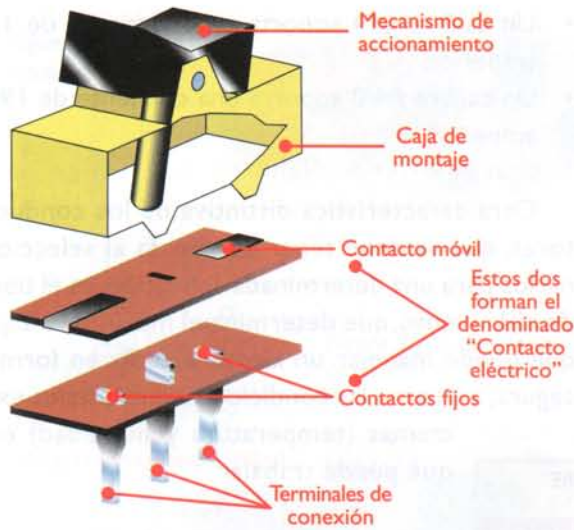


Figura 3.10. Estructura de un interruptor

presión, etc. y que forman el comúnmente llamado contacto eléctrico, figura 3.10. Su función es permitir que la corriente eléctrica pueda circular de una de las superficies fijas a la otra, ofreciendo la mínima resistencia posible. Cuando el interruptor se lleva a la posición de cerrado (ON), el contacto móvil une los contactos fijos cerrando el circuito y los separa cuando el interruptor se lleva a la posición de abierto (OFF), abriendo a su vez el circuito.

Simbología

Los interruptores pueden ser de uno o varios polos, y posiciones de acción permanente o momentánea:

- Un interruptor es de acción permanente cuando después de ser accionado y liberado permanece en el último estado por tiempo indefinido, hasta que el mismo sea modificado por el usuario.
- Un interruptor es de acción momentánea cuando cambia de estado sólo cuando se tiene accionado por el usuario, y retorna a su estado inicial cuando éste es liberado. También son llamados pulsadores.
- Un interruptor es llamado de varios polos cuando puede abrir y cerrar al mismo tiempo varios circuitos independientes. En este caso hay varios interruptores individuales, pero se accionan al mismo tiempo por medio de un mecanismo común. Su símbolo incluye unas líneas punteadas que indican que los interruptores están relacionados mecánicamente entre sí.
- Un interruptor es de varias posiciones cuando posee un número de rutas o vías diferentes, las cuales puede seleccionar para la circulación de la corriente hacia diferentes puntos de un circuito.

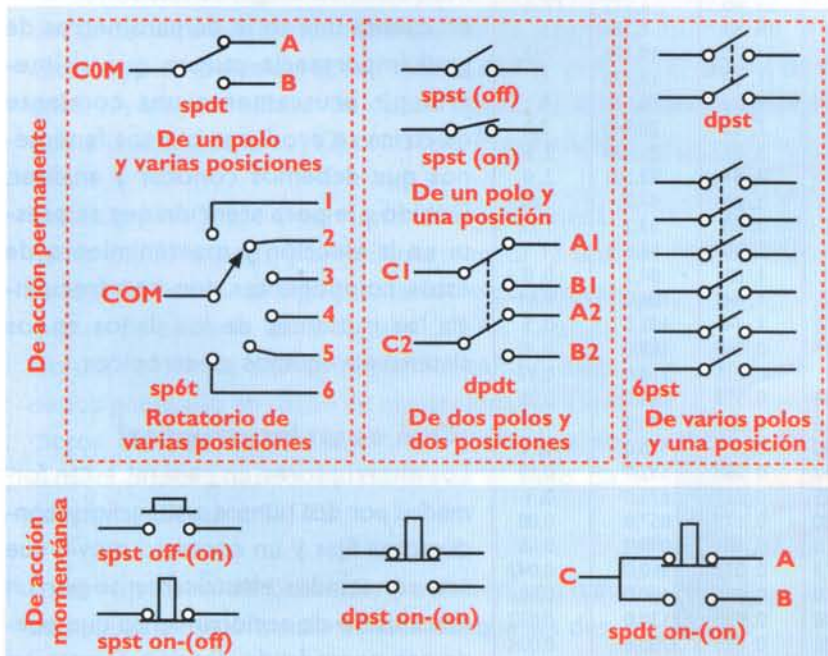


Figura 3.11. Simbología de los interruptores

En la figura 3.11 se muestran los símbolos empleados en los diagramas electrónicos para representar algunos de estos interruptores.

Clasificación

Dependiendo de su construcción y del mecanismo de accionamiento, los interruptores pueden ser de varios tipos:

Deslizantes: el accionamiento de estos interruptores se hace de tal forma que una de las superficies se desliza sobre la otra al aplicar una pequeña fuerza que venza la fricción entre ellas. Este movimiento hace que los contac-

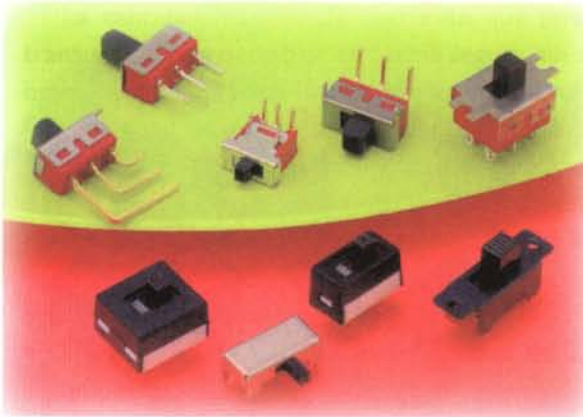


Figura 3.12. Interruptores deslizantes

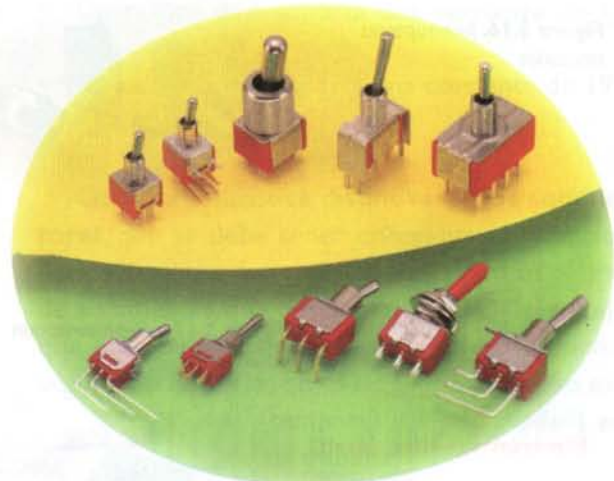


Figura 3.13. Interruptores de codillo o de palanca

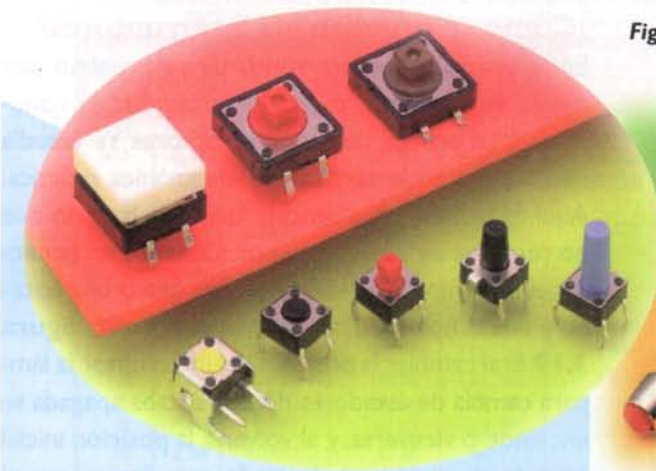


Figura 3.14a. Interruptores de presión o pulsadores de acción momentánea

tos permanezcan limpios, pero se desgastan rápidamente debido al rozamiento entre ellos. **Figura 3.12**

De codillo (toggles): son mecánicamente más robustos que los anteriores y manejan corrientes más altas; su accionamiento se hace mediante una pequeña palanca. **Figura 3.13**

Interruptores de presión o pulsadores (push-button): la mayoría son de acción momentánea; **figura 3.14a**, aunque hay algunos que pueden ser asegurados y empleados como interruptores convencionales. En éstos, el botón debe presionarse una vez para cerrar los contactos y otra vez para abrirlos. **Figura 3.14b**

Interruptores de doble fila (dipswitches): pueden tener desde uno (1) hasta doce (12) in-

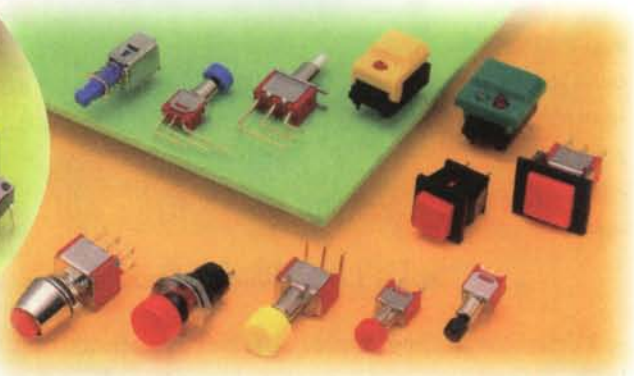


Figura 3.14b. Interruptores de presión o pulsadores

terruptores individuales; se utilizan para controlar corrientes y voltajes muy bajos en circuitos donde no deben ser accionados continuamente. Se utilizan especialmente en tarjetas electrónicas. **Figura 3.15**

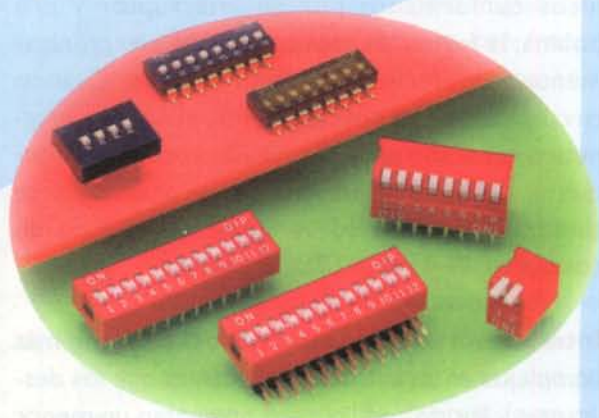
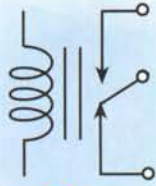
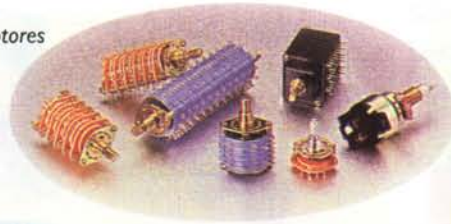


Figura 3.15. Interruptores de doble fila

Figura 3.16. Interruptores rotatorios



Relé
Electromagnético (dpdt)

Figura 3.17a. Representación de un relé



Figura 3.17b. Interruptores electromecánicos

Rotativos, conmutadores o llaves selectoras: son interruptores de varios polos, ya sea de una o varias posiciones. Están formados por uno (1) o más discos de material aislante dependiendo de la cantidad de polos del interruptor; dichos discos giran entre un número similar de discos fijos, cada uno con un máximo de doce (12) contactos. **Figura 3.16**

Relés (relais): son interruptores electromecánicos conformados por un interruptor y una bobina; la forma de representarlos electrónicamente se observa en la **figura 3.17a**. Cuando circula corriente por la bobina, el campo magnético generado en torno de ella acciona los contactos del interruptor, los cuales vuelven a su estado inicial cuando se suspende el flujo de corriente. **Figura 3.17b**

Interruptores de balancín (rockers): son más complejos en su estructura mecánica que los deslizantes y los de codillo, pero presentan un menor desgaste que los anteriores. **Figura 3.18**



Figura 3.18. Interruptores de balancín

¿Cómo se prueban los interruptores?

En la práctica, los interruptores se prueban por medio de un óhmetro o de un probador de continuidad. La prueba de los interruptores se estudia con detalle en la sección de electrónica práctica. Aquí mostramos una sencilla forma de hacerlo que no requiere de dichos equipos. Consiste en conectar el interruptor en serie con una pila o una batería y una lámpara, tal como se muestra en la **figura 3.19**. Si al cambiar la posición del interruptor la lámpara cambia de estado, es decir, si estaba apagada se enciende ó viceversa, y al volver a la posición inicial retorna al primer estado, podemos afirmar que el interruptor está bueno; si por el contrario, cuando cambiamos la posición del interruptor la lámpara no cambia de estado, es decir, permanece encendida o apagada, entonces el interruptor está averiado.



Figura 3.19. Prueba sencilla de un interruptor

¿Qué debemos tener en cuenta cuando seleccionamos y utilizamos un interruptor?
El máximo voltaje que puede soportar cuando está abierto: ya que si se conecta un voltaje mayor al especificado pueden producirse arcos de voltaje entre los contactos. Además, una pequeñísima parte de contacto puede transportarse al otro; lo cual, al cabo de un determinado número de conmutaciones, puede destruir el dispositivo.

La máxima corriente que puede soportar cuando está cerrado: si la corriente que va a circular por el dispositivo es superior a la especificada, éste se calienta y pueden llegar a destemplarse los resortes que mantienen presionados los contactos, o los contactos pueden fundirse y abrir totalmente el circuito.

Otros aspectos que se deben considerar: es muy importante que el material con el que están elaborados los contactos sea muy buen conductor y tenga una alta resistencia a la temperatura y al desgaste mecánico, el cual se especifica en ciclos o número de veces que se ha utilizado.

¿Cuáles son las fallas más comunes?

- Si el interruptor permanece cerrado, es decir conduce en cualquiera de las dos posiciones, seguramente sus contactos se han fundido debido a un sobrecalentamiento producido por la circulación de una corriente elevada a través de él.
- Si por el contrario, el interruptor permanece abierto, pueden existir dos posibles razones para ello:
 - Las superficies de contacto se han desgastado, impidiendo que haya un contacto físico cuando se cambia de posición.
 - Las superficies de contacto están recubiertas con una capa de óxido, la cual actúa como aislante.

Los conectores

Son componentes electromecánicos que se utilizan para unir eléctricamente dos o más circuitos dentro de un aparato o para conectar, junto con los cables apropiados, diferentes aparatos o dispositivos entre sí fácil y



Figura 3.20. Estructura de un conector

rápidamente. La mayoría de los conectores pueden ser separados sin la necesidad de emplear herramientas.

Estructura

Los conectores, en general, están compuestos por dos partes complementarias enchufables entre sí; una se introduce en la otra. La que es introducida recibe el nombre de macho y la que lo recibe es llamada hembra. **Figura 3.20.** Las dos partes están fabricadas en base a aleaciones de cobre por ser un material buen conductor y se recubren con otro metal que no se oxide como el zinc, el níquel, la plata y el oro. Además, las partes metálicas están montadas sobre elementos aislantes como el plástico y la baquelita, entre otros. Básicamente los conectores pueden ser de dos tipos: aéreos o fijos. Los aéreos están unidos mediante cables, mientras que los fijos están firmemente unidos a la tarjeta del circuito impreso o al chasis donde se encuentra alojado el circuito. **Figura 3.21**



Figura 3.21. Conectores fijos y aéreos



Figura 3.22. Conectores de una vía

Clasificación

Los conectores pueden clasificarse de acuerdo al número de vías o caminos que proporcionen para la circulación de las señales eléctricas, por lo que pueden ser de una o de varias vías. Cuando son de una vía, poseen un solo terminal de conexión destinado para recibir un solo alambre. A este grupo pertenecen los caimanes, los terminales y las bananas, entre otros. **Figura 3.22**

Los conectores de varias vías están destinados a recibir un cable multiconductor o ser soldados directamente a los circuitos impresos y reciben el nombre de conectores **multipin**. Estos conectores se utilizan cuando los sistemas electrónicos manejan varias señales de entrada



Figura 3.23. Conectores de varias vías

y de salida o requieren de conectores con varios puntos de contacto para comunicarse internamente con otros circuitos o externamente con otros equipos. Pueden ser soldados o unidos a presión a los conductores y pueden ser de varios tipos: **Figura 3.23**

- Los conectores miniatura SUB-D
- Los cabezales (*headers*)
- Los de terminación en masa
- Los de borde, para tarjeta de circuito impreso, etc.

Los conectores pueden ser de varios tipos dependiendo de su uso y de sus características constructivas, pues de esto depende que las conexiones sean seguras. De no tener en cuenta estos dos factores, es muy probable que las conexiones queden flojas por lo que estarán propensas a separarse y a generar un funcionamiento intermitente.



Figura 3.24. Conectores de potencia



Jacks y plugs para CC



Bornes a presión



Bloques de terminales

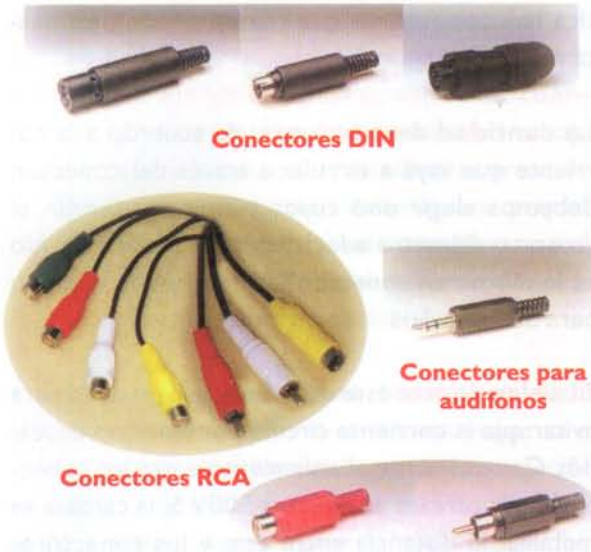


Figura 3.25. Conectores para audio

De acuerdo a su uso los conectores pueden ser:

Conectores de potencia: son más robustos que los demás y están diseñados para manejar corrientes y voltajes grandes. A este grupo pertenecen los *jacks* y los *plugs* CC, los bloques de terminales, los tomacorrientes y los enchufes, entre otros. **Figura 3.24**

Conectores para audio: en las aplicaciones de audio o sistemas de sonido se emplean gran canti-

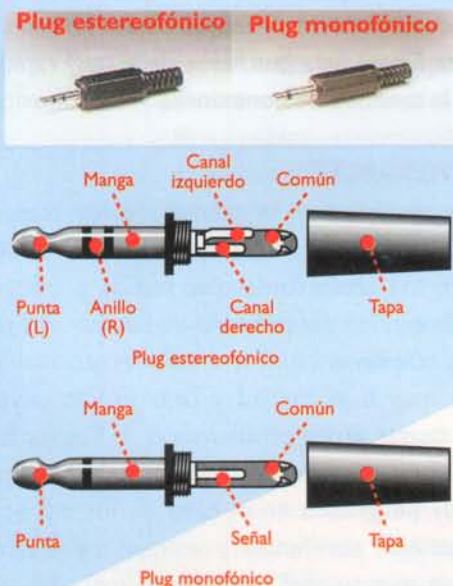


Figura 3.26. Estructuras de un plug monofónico y de un plug estereofónico



Figura 3.27. Conectores coaxiales

dad de conectores, tales como los usados para permitir el paso de señales desde y hacia micrófonos, parlantes, audífonos, amplificadores, mezcladores, etc. Los más empleados son: los RCA, los conectores para audífonos y los DIN (*Deutsche Industrie Norm*). **Figura 3.25.** Todos estos conectores son circulares y la mayoría se emplean también para vídeo. Algunos de los conectores (para audífonos, micrófonos, señales de línea, etc.) pueden ser monofónicos (manejan solo un canal) o estereofónicos (manejan dos canales). **Figura 3.26**

Conectores coaxiales: son ampliamente utilizados en algunos instrumentos de medida, en radio frecuencia (RF), para extraer y enviar señales desde y hacia los transmisores, receptores y otros equipos. Los más utilizados son los BNC y los de UHF (*Ultra High Frequency*). **Figura 3.27**

Conectores para fibra óptica: estos conectores incorporan lentes y otros componentes especiales para facilitar el acoplamiento de este tipo de cables, reducir los costos e incrementar el rendimiento de este tipo de comunicación moderna. **Figura 3.28**

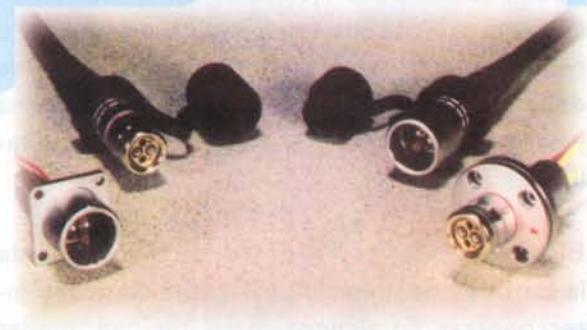


Figura 3.28. Conectores para fibra óptica



Figura 3.29. Adaptadores

Adaptadores y cables de interconexión: son empleados para acoplar entradas o salidas mecánicamente incompatibles. Poseen en cada uno de sus extremos un conector de varias vías, varios conectores de una vía, o ambos.

Comercialmente se consiguen: adaptadores de *plug* a *jack phono* o RCA, adaptadores de *phono* a RCA ya sea de *plug* a *jack*, de *jack* a *plug*, de *plug* a *plug*, de *jack* a *jack*, entre otros.

Figura 3.29

¿Qué debemos tener en cuenta al elegir un conector?

En el momento de escoger un conector para un circuito o un aparato, debemos tener en cuenta varios aspectos muy importantes como:

El tipo: para cada tipo de tarea se debe utilizar el conector apropiado ya que hay una gran variedad de ellos. Por ejemplo, para la entrada de alimentación de un amplificador de sonido o cualquier aparato eléctrico o electrónico se debe utilizar un enchufe para corriente alterna y para la salida del parlante un conector de salida de audio.

El número de terminales: esto depende de la cantidad de líneas o cables que se deben interconectar. En algunos casos, pueden quedar algunos puntos libres sin conexión. En la prác-

tica hay conectores que tienen desde uno hasta muchos terminales.

La cantidad de corriente: de acuerdo a la corriente que vaya a circular a través del conector, debemos elegir uno cuyos terminales tengan el grosor o diámetro adecuado para soportarla. No es lo mismo un conector para 1 amperio que uno para 30 amperios.

El aislamiento: éste determina la capacidad para evitar que la corriente circule por sitios no deseados. Generalmente el aislamiento entre los conectores y la carcasa es de unos 500V. Si la carcasa es metálica, la distancia entre ésta y los conectores debe ser lo suficientemente grande para evitar que circule corriente entre ellos.

La resistencia de contacto: debe ser, idealmente, igual a cero. Para conseguir esto es necesario que los dos conectores que se unen tengan el mayor contacto posible en cuanto a superficie y presión. De lo contrario aparecerá una pequeña resistencia, lo cual hará que al circular corriente a través del contacto, éste se caliente y llegue a destruirse.

La resistencia mecánica: teniendo en cuenta la frecuencia con que dicho conector debe ser conectado y desconectado, debemos elegir uno lo suficientemente fuerte para que no se dañe muy rápido debido a la cantidad de conexiones y desconexiones.

IMPORTANTE

Debemos observar la calidad de los materiales (conductores y aislantes) empleados en la fabricación de los conectores que vamos a utilizar, así como la calidad del proceso de fabricación ya que es muy común encontrar en el mercado conectores de muy baja calidad y bajo precio cuyo uso puede causar serios problemas en el funcionamiento de los circuitos y aparatos, e inclusive, pueden ser muy peligrosos en el caso de los conectores que manejan corrientes y voltajes relativamente altos, ya que su mal contacto o mal aislamiento pueden causar un incendio.

Los circuitos impresos

Los circuitos impresos hacen parte del grupo de los componentes electromecánicos y tienen una gran importancia en la electrónica moderna. Gracias a ellos y a los circuitos integrados, los cuales estudiaremos en una próxima lección, se ha logrado el gran avance actual de la electrónica en cuanto a la gran variedad de circuitos disponibles en el mercado y a la facilidad de fabricarlos en serie cada vez con menos costos. Así mismo permiten que una gran cantidad de estudiantes, aficionados y profesionales de esta tecnología, puedan diseñar y fabricar fácilmente sus prototipos, y luego producir sus propios aparatos. El circuito impreso es el método de interconexión de componentes más utilizado actualmente para la construcción práctica de los circuitos electrónicos.

En esta sección del curso estudiaremos que es un circuito impreso y su estructura básica, cuales son sus principales tipos y aplicaciones, y una breve historia. En la sección de Electrónica Práctica veremos varios métodos para el diseño y la fabricación de los mismos, y en la sección de Proyectos, tendremos un circuito impreso para cada uno de ellos, sobre el que se hace el ensamblaje del circuito.

¿Qué es un circuito impreso?

Un circuito impreso (*printed circuit board*) es una placa o lámina aislante que tiene adheridas líneas conductoras muy delgadas por una o ambas caras.

En una de ellas se montan los componentes electrónicos que conforman el circuito, **figura 3.30**. Las líneas conductoras o trazos se utilizan para establecer las diferentes conexiones entre los elementos del circuito; ellas tienen orificios en sus extremos en los cuales se insertan y sueldan los terminales de los componentes. Popularmente los circuitos impresos reciben el nombre de *plaquetas*. Además, los circuitos impresos se utilizan como soporte físico para la mayoría de los componentes de los aparatos.

Anteriormente los aparatos electrónicos debían llevar cables entre todos sus componentes. Con el desarrollo de la tecnología y la invención de nuevas técnicas de fabricación, se logró el perfeccionamiento de los circuitos impresos, los cuales presentan muchas ventajas a la hora de armar un proyecto o aparato, tales como:

- Facilitan las conexiones y por lo tanto se disminuyen los errores
- Su uso ha permitido lograr la miniaturización de muchos aparatos
- Permiten hacer fácilmente labores de ensamblaje y reparación
- Sirven como soporte físico para los componentes
- Proporcionan uniformidad en las series de producción

Tipos de circuitos impresos

Los circuitos impresos pueden ser rígidos o flexibles y se clasifican según el número de capas o

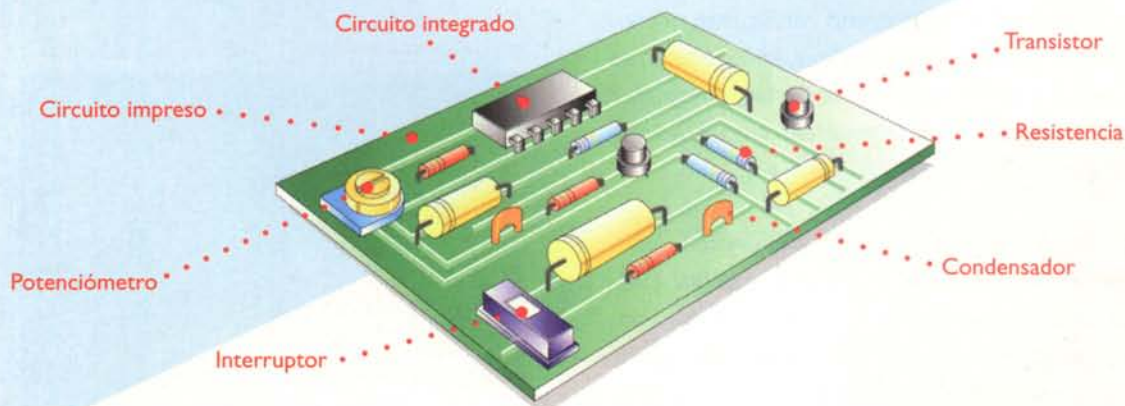


Figura 3.30. Componentes montados sobre un circuito impreso

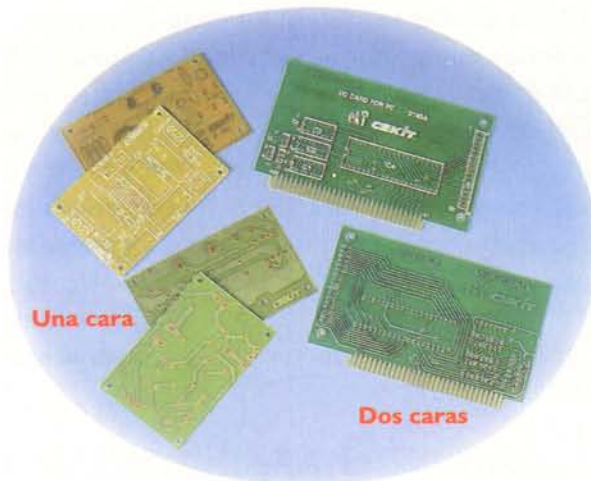


Figura 3.31. Circuitos impresos de una cara y de dos caras



Figura 3.32. Circuitos impresos flexibles



caras conductoras que posean. En los rígidos los hay de una sola cara, de dos caras o de doble faz y los multicapas, en los cuales se debe especificar el número de ellas. **Figura 3.31**. En los flexibles los hay de una sola capa y de dos capas o dos caras. **Figura 3.32**

Los de tipo rígido y una sola cara, son los más utilizados en circuitos sencillos y sobre ellos centraremos nuestra atención. En aparatos con muchos circuitos integrados como memorias, microprocesadores, compuertas lógicas, etc., se utilizan los de doble cara y en circuitos muy complejos como las computadoras, se emplean circuitos multicapa, **figura 3.33**.

Hay un tipo especial de circuitos impresos llamados **universales** los cuales permiten ensamblar cualquier circuito ya que tienen una serie de perforaciones para montar los componentes y poseen líneas de conexión prefabricadas. **Figura 3.34**. Estos se utilizan para la elaboración de prototipos o circuitos que

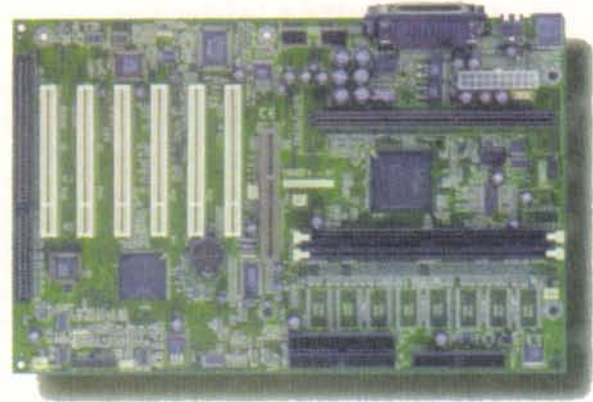


Figura 3.33. Circuitos impresos multicapa

se van a ensamblar una sola vez. Su utilización la explicaremos ampliamente en una próxima lección en la sección de Electrónica Práctica.

Actualmente hay un tipo de montaje de circuitos llamado SMT (*surface mount technology* o tecnología de montaje de superficie) en el cual los componentes no tienen alambres como terminales y éstos se sueldan directamente sobre la superficie del circuito impreso. La principal característica de esta tecnología, la cual se está imponiendo poco a poco, es el tamaño reducido de sus componentes y su montaje y soldadura por medio de máquinas automáticas. **Figura 3.35**

Estructura básica de un circuito impreso

Antes de fabricar un circuito impreso se tiene una lámina virgen, es decir, una lámina entera sin ningún trazo o conexión. Ésta tiene una parte aislante que se obtiene a partir de un material de base laminado, formado por un resina plástica con una

Cara de los componentes Cara de las soldaduras

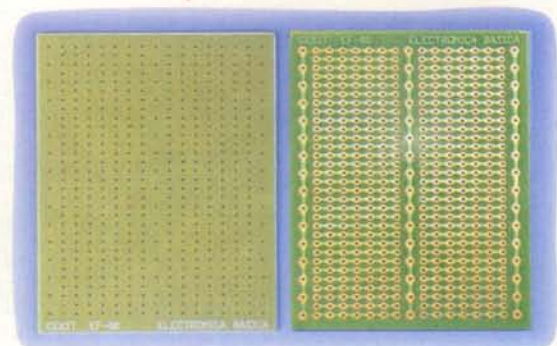


Figura 3.34. Circuito impreso universal

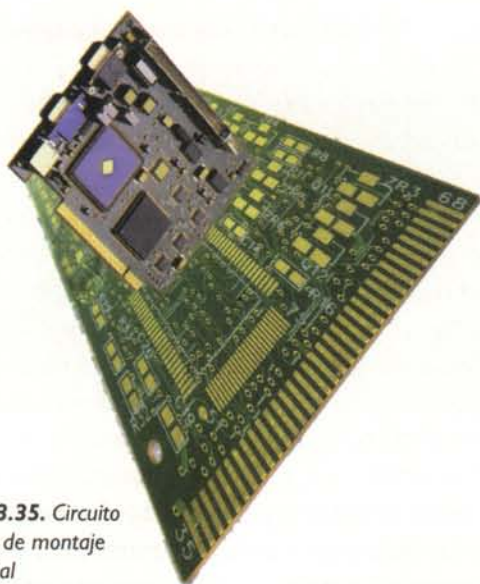


Figura 3.35. Circuito impreso de montaje superficial

estructura interna de fibra de vidrio o papel fenólico (baquelita) impregnada, que le confiere la resistencia mecánica necesaria.

Por una o las dos caras del material aislante se encuentra una lámina de cobre adherida mediante un proceso de presión y alta temperatura. Esta lámina de cobre se deposita sobre la lámina aislante mediante un proceso denominado electrólisis, el cual es un proceso químico que permite obtener capas muy finas de material sedimentado. Por lo tanto, el espesor de la lámina de cobre puede ser controlado con este proceso. El espesor normal utilizado suele tener aproximadamente 35 micras (milésimas de milímetros), pero hay casos especiales en donde pueden variar esas medidas. En la **figura 3.36** se muestran la estructura básica de una lámina virgen de una cara y una de dos caras.

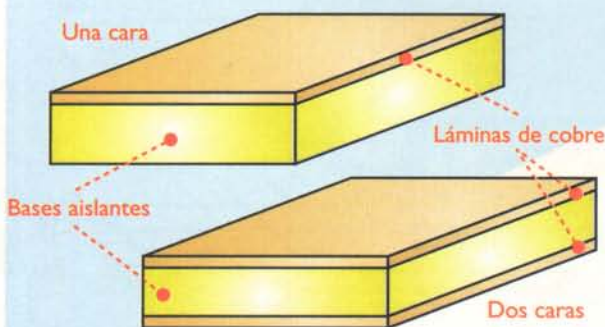


Figura 3.36. Estructura de la lámina para circuitos impresos

Los circuitos impresos de baquelita se utilizan normalmente en circuitos que manejan señales de frecuencias bajas o corriente continua, o en aquellos casos en que el costo sea un factor limitante ya que las placas de fibra de vidrio son más costosas. Las placas de fibra de vidrio presentan características inmejorables de aislamiento, incluso en altas frecuencias de funcionamiento y en condiciones climáticas adversas como altas o bajas temperaturas y alta humedad; además, la fibra de vidrio presenta una mayor resistencia mecánica y no tiende a fracturarse como la baquelita.

Fabricación de los circuitos impresos

Para convertir un pedazo de lámina virgen en un circuito impreso, este se debe dibujar con un marcador, pintura o tinta indeleble sobre la placa de cobre y luego sumergirla en un ácido como el percloruro férrico. Al hacer esto, lo que logramos es proteger las líneas trazadas de la acción del ácido sobre el cobre; es decir, que al aplicar el ácido sobre la placa dibujada, únicamente se disolverá el cobre que no está protegido por la pintura, quedando finalmente las pistas o líneas dibujadas, que interconectarán los componentes. **Figura 3.37**

En la parte superior del circuito impreso, donde se montan los componentes, se puede dibujar o pintar la forma y valor de estos, con el fin de facilitar el ensamblaje, la prueba y la reparación de los circuitos. Tratándose de la fabricación en serie, en el lado de las soldaduras, se utiliza una capa de pintura especial llamada *antisolder* la cual solo deja descubiertos los pun-

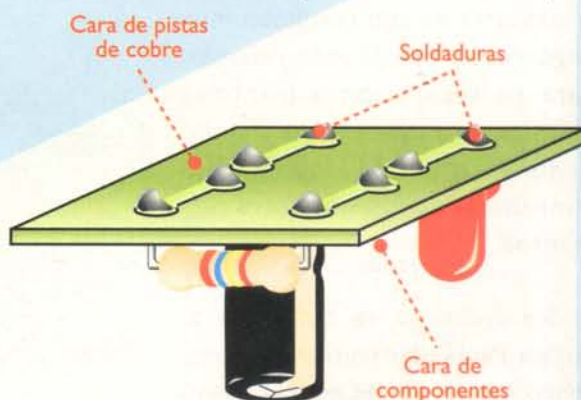


Figura 3.37. Trazos conductores en un circuito impreso

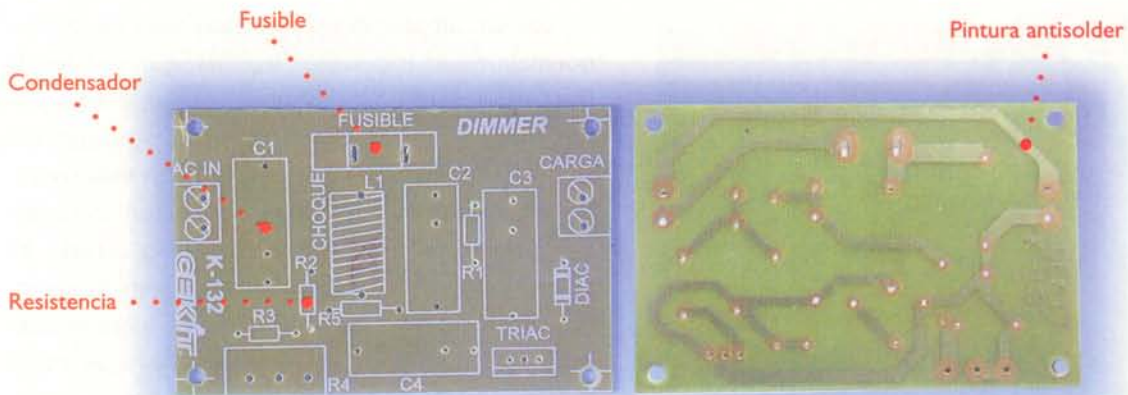


Figura 3.38. Dibujo de los componentes y pintura antisolder

tos para la aplicación de la soldadura lo que evita cortocircuitos y una mala aplicación de ésta. **Figura 3.38**

Breve historia

En 1903, Albert Hanson, un alemán residente en Inglaterra, presentó por primera vez una patente de un método cercano a los circuitos impresos, en el cual se adherían conductores a un material aislante, con el fin de ser utilizados en los sistemas telefónicos de la época. **Figura 3.39.** Entre 1923 y 1939 se registran varias patentes que tratan sobre diferentes métodos para hacer conexiones “impresas” sobre bases aislantes. Entre ellas estaba la de Parolini en 1927 “para la producción de placas aisladoras eléctricas, con una serie de conexiones”.

Antes de esta tecnología, las interconexiones entre los diferentes elementos de un circuito o aparato se hacían por medio de cables o alambres lo que resultaba muy engorroso y complicado. Además, para su reparación y mantenimiento, se requería de mucho tiempo al tratar de identificar las conexiones de los diferentes elementos.

Sin embargo, se considera al doctor Paul Eisler, un científico austriaco, residente en Londres, como el inventor de los circuitos impresos.

Esta patente fue registrada el 6 de septiembre de 1936 como un medio para “la producción de aparatos y componentes electrónicos de corriente débil”. Su aprobación fue otorgada en 1948 como un proceso basado en la impresión de la representación de un material conductor”.

El principal acontecimiento que impulsó el desarrollo de los circuitos impresos, fue la necesidad, durante los primeros años de la segunda guerra mundial, de fabricar aparatos electrónicos muy pequeños para las comunicaciones y especialmente la fabricación de dispositivos tales como la espoleta de proximidad que hacía estallar una bomba al llegar a cierta distancia de un objeto. Las grandes cantidades de estas bombas que se necesitaron, estimularon las investigaciones tendientes a producir en masa y a ritmo acelerado los circuitos electrónicos “miniatura”.

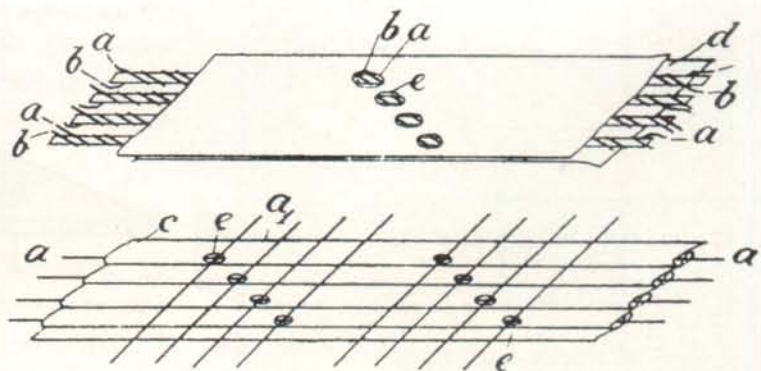


Figura 3.39. Primera aproximación a un circuito impreso

Los fusibles

Son dispositivos empleados para proteger los circuitos y sistemas electrónicos de corrientes excesivas y de los cortocircuitos.



Figura 3.40 Símbolo de los fusibles

¿Qué son los fusibles?

Un fusible es básicamente una porción de alambre muy buen conductor, cuya temperatura de fusión es mucho menor que la del cobre. Como el alambre es muy buen conductor, posee una resistencia muy baja y su longitud y diámetro son calculados para que se funda sólo cuando circule por él una corriente mayor que aquella para la cual fue diseñado. Cuando esto ocurre, se abre el circuito, lo que interrumpe el paso de la corriente, protegiendo así el sistema eléctrico o electrónico.

Los fusibles se clasifican por su capacidad en amperios, es decir por la cantidad de corriente que pueden soportar sin quemarse; esta caracte-

rística viene generalmente impresa sobre el cuerpo del fusible. Comercialmente se consiguen fusibles con capacidades desde 20mA hasta 600A, estos últimos son empleados para instalaciones eléctricas. En la **figura 3.40** se muestra la forma como se representan los fusibles en los diagramas eléctricos y electrónicos.

En general, los fusibles deben colocarse lo más cerca posible del punto donde está conectada la fuente de alimentación del circuito protegido, lejos de materiales inflamables y de tal forma que se tenga un fácil acceso a ellos, por lo que no solo pueden ser instalados directamente sobre la placa de circuito impreso, sino también mediante portafusibles, los cuales han sido diseñados para ser instalados en el *chasis* que contiene el circuito. **Figura 3.41**

¿Cómo elegir un fusible?

Conociendo la corriente máxima que circulará por el circuito, debemos escoger un fusible cuya capacidad sea ligeramente superior, pero nunca mayor al 15%. Dicho fusible puede calcularse tal como se observa en el siguiente ejemplo: si la corriente máxima que circulará por el circuito es de 400mA, entonces:

$$\text{Fusible} = 1,15 \times 400\text{mA}$$

$$\text{Fusible} = 460\text{mA}$$



Figura 3.41 Portafusibles

se quemará constantemente y de manera innecesaria.

- b. Si la capacidad del fusible es mucho mayor, permitirá el paso de corrientes muy elevadas, peligrosas para el circuito electrónico y que, en el peor de los casos, pueden destruirlo.



Figura 3.44 Fusible de funcionamiento retardado

Tipos de fusibles

Los fusibles se fabrican en muchos tamaños, formas y capacidades, aunque lo único que cambia es su apariencia externa, pues internamente todos son relativamente iguales.

Fusibles miniatura (mignon): son tubos pequeños de vidrio con tapas metálicas en sus extremos, en cuyo interior puede observarse el elemento fusible. Son empleados en electrónica principalmente y pueden ser de dos tamaños: cortos 5x20 mm y largos 6,3x32mm. **Figura 3.42**

En la **Figura 3.43** se muestran otros tipos de fusibles utilizados en electrónica.

Los fusibles no se utilizan solo en electrónica; también son muy empleados en electricidad para

la protección de las instalaciones domiciliarias y en todo tipo de máquinas y equipos eléctricos donde se manejan principalmente dos tipos de fusibles:

Fusibles tipo tapón: son empleados en instalaciones eléctricas que consumen menos de 30A. A este grupo pertenecen los **fusibles de funcionamiento retardado** que son empleados para controlar la corriente en algunos motores. Estos permanecen inactivos cuando la sobrecarga tiene una corta duración, pero se queman de inmediato cuando la sobrecarga es producida por un cortocircuito. **Figura 3.44**



Figura 3.45 Fusible tipo cartucho

Fusibles tipo cartucho o americano: éstos pueden ser a la vez de dos clases: de contacto por casquillo, los cuales manejan corrientes comprendidas entre 3 y 60 amperios; o de contacto por cuchilla, empleados en instalaciones industriales, que son diseñados para corrientes entre 75 y 600A. **Figura 3.45**

¿Cuándo se queman los fusibles?

Generalmente los fusibles se queman por sobrecarga, es decir, cuando de repente reciben una corriente excesiva, la cual calienta los conductores hasta quemarlos. Como los fusibles poseen una temperatura de fusión mucho menor que la de los conductores, éstos serán los primeros en quemarse, protegiendo así el circuito.

Una sobrecarga puede producirse por:

- a. Tener demasiados aparatos conectados al circuito.
- b. Por un cortocircuito, el cual a su vez puede producirse por:
 - Contactos entre cables desnudos.
 - Humedad en los conductores (alambres, circuito impreso, etc.).
 - Por contactos con superficies u objetos metálicos, por ejemplo, el *chasis* del equipo, atornilladores, tornillos, etc.
 - Fallas en otros componentes del circuito.

¿Qué debo y qué no debo hacer cuando se quema un fusible?

Lo que debe hacer:

1. Desconecte el circuito de la fuente de energía.
2. Investigue qué produjo la quemadura del fusible.
3. Repare la avería.
4. Instale un nuevo fusible del mismo tamaño y capacidad del que se quemó.

Lo que no debe hacer:

1. No instale un fusible nuevo sin haber encontrado y reparado el daño.

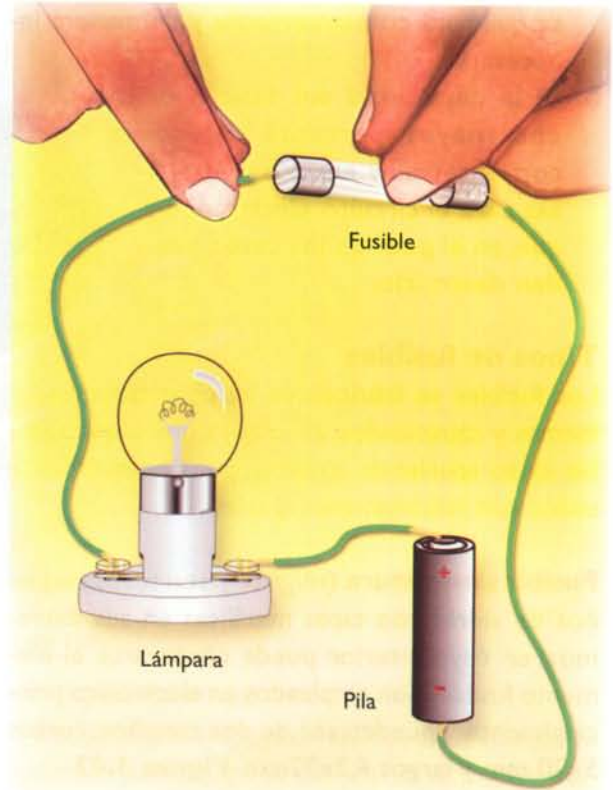


Figura 3.46 Prueba de los fusibles

2. No instale un fusible de mayor capacidad del que se quemó.
3. Nunca instale un alambre de cobre, un trozo de soldadura, ni ningún otro material conductor en lugar del fusible destruido.

¿Cómo puedo saber si un fusible está bueno o malo?

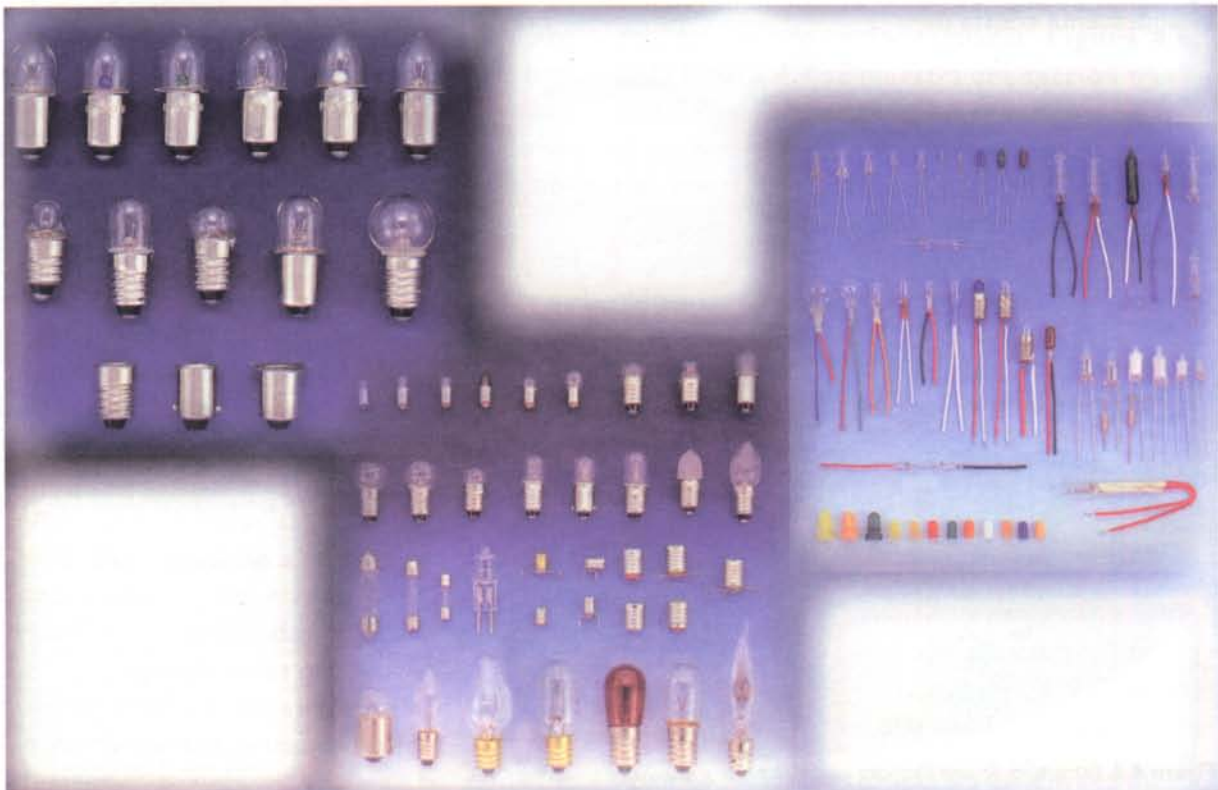
La prueba de los fusibles se estudia en la sección de electrónica práctica. Sin embargo, mostraremos aquí una forma sencilla de hacerlo que no requiere ningún conocimiento previo sobre el manejo de equipos.

Consiste en conectar el fusible formando un circuito en serie con una pila y una lámpara como se muestra en la **figura 3.46**. Si la lámpara se enciende al colocar el fusible, podemos afirmar que éste está bueno, de lo contrario, no lo está.

Lección 4

Las lámparas

La luz ha sido, desde siempre, uno de los fenómenos que más ha llamado la atención del hombre. Existen básicamente dos tipos de fuentes de luz: las naturales y las artificiales. Estas últimas, que pueden ser incandescentes o de descarga de gas, transforman la energía eléctrica en energía lumínica. Se utilizan para reemplazar la luz natural en las edificaciones, así como para monitorear circuitos (pilotos), producir efectos especiales, enviar señales en forma óptica, iluminar sensores de luz, y otras aplicaciones específicas.



Las lámparas incandescentes

Se basan en la propiedad que tienen algunos materiales, como el tungsteno, de emitir luz cuando se eleva su temperatura interna. Las primeras lámparas de este tipo fueron ideadas por el inventor



Figura 4.1. Thomas Alva Edison

e industrial norteamericano Thomas Alva Edison, figura 4.1, en 1878 cuando, al recubrir un delgado hilo con polvo de carbón, para hacerlo conductor y hacer pasar a través de él una corriente eléctrica, produjo un destello de luz que duró unos minutos. Aunque el hilo se quemó, el fenómeno observado sirvió como base para la fabricación de la lámpara incandescente, la cual alcanzó gran éxito y fue inmediatamente adoptada en Europa y América.

Estructura

Sin importar su forma, tamaño o uso, una lámpara incandescente consta de:

- Un **filamento de tungsteno** enrollado en espiral el cual, debido al paso de la corriente se calienta hasta alcanzar su punto de incandescencia, emitiendo luz. Dicho filamento se encuentra encerrado en una **ampolla** de vidrio a la cual, con el fin de prolongar la vida útil del filamento, se le extrae el aire antes de sellarla y se llena con un gas inerte, figura 4.2. De esta forma se retarda la evaporación del tungsteno y se proporciona una mejor iluminación. Las ampollas o bulbos de las lámparas incandescentes se fabrican en una variedad de estilos y tamaños adaptados para cada uso. Para su designación se utilizan una o más letras que indican la forma (S, F, G, T, A, B, etc.), seguidas de un número, el cual indica el diámetro máximo en octavas de pulgada. Por ejemplo A-25, se refiere a una lámpara tipo A con un diámetro de 25/8". **Figura 4.3**
- La base o casquillo, figura 4.4 es una pieza de latón o de aluminio, fijada al bulbo, que sirve para colocar la lámpara en su portalámpara y conectar el filamento por medio de dos alambres conductores. **Figura 4.5.** También pue-

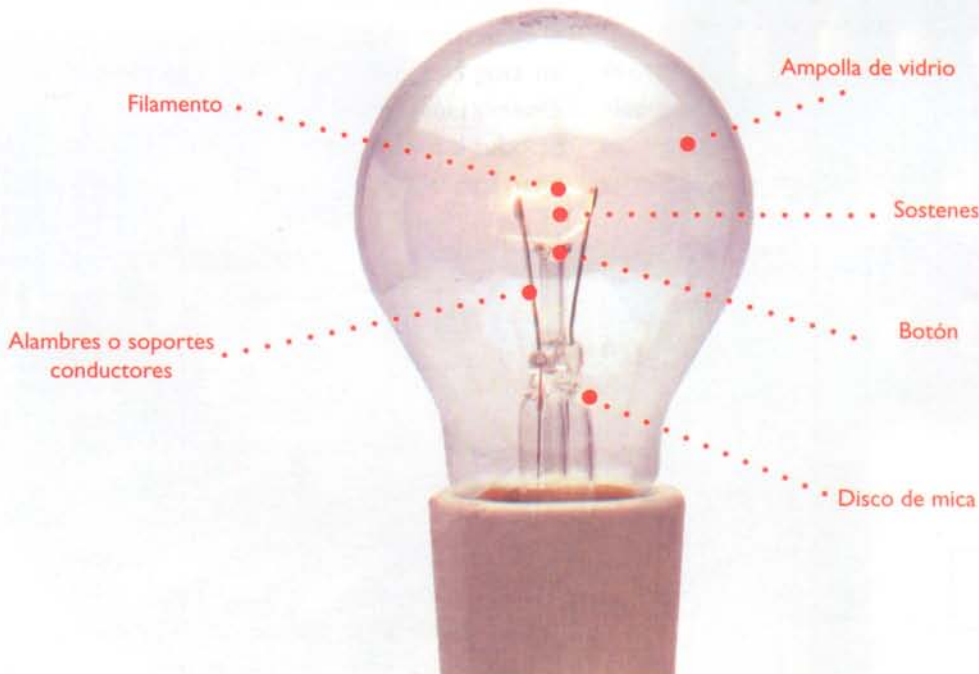


Figura 4.2. Estructura de una lámpara incandescente

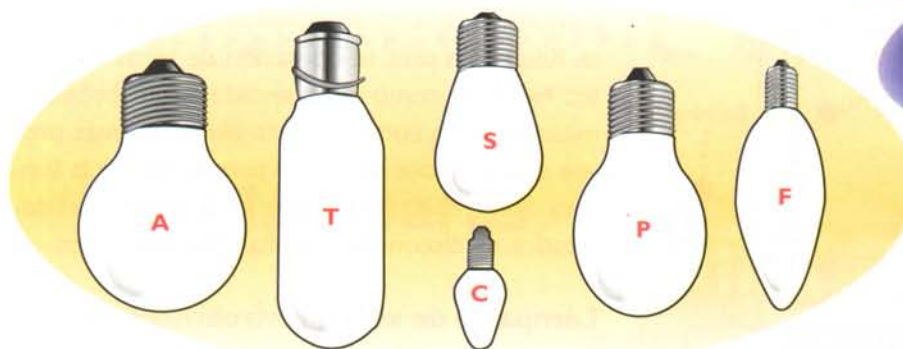


Figura 4.3. Formas estándar de lámparas incandescentes

den ser de varias formas y tamaños, dependiendo de la potencia, el tamaño y el uso de la lámpara. Generalmente son de tipo roscado, aunque algunas lámparas utilizan un casquillo tipo bayoneta el cual es muy común en los automóviles.

Tipos de lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes se clasifican de acuerdo a su empleo. Pueden ser básicamente de los siguientes tipos:

1. De propósito general, empleadas como pilotos en circuitos electrónicos y fuentes de luz para sensores ópticos e iluminación de edificaciones.
2. De tres intensidades, provistas de dos filamentos y capaces de producir tres flujos luminosos diferentes.
3. De destellos empleadas algunas veces en fotografía.
4. Halógenas, empleadas en los faros de los automóviles, copadoras y escáners.
5. Reflectoras y proyectoras, empleadas en la iluminación de monumentos, campos deportivos y otras tareas que requieran altos niveles de luz, etc. También son empleadas en los juegos de luces que se montan en escenarios para conciertos, pistas de baile y teatros.

Roscado



Bayoneta

Figura 4.4. Tipos de bases o casquillos para lámparas incandescentes.

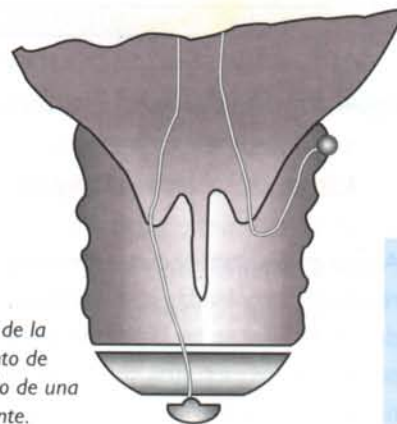


Figura 4.5. Detalle de la conexión del filamento de tungsteno al casquillo de una lámpara incandescente.

Para la instalación de las lámparas incandescentes existen diferentes tipos de portalámparas, dependiendo de las tareas que se tengan y del lugar donde serán instaladas. **Figura 4.6.** En la **figura 4.7** se muestra una sección transversal de un portalámpara común. Observe que el terminal A está conectado al contacto central, mientras que el terminal B está conectado al contacto roscado. Este último está fabricado generalmente de bronce y se encuentra contenido en un material aislante de plástico, baquelita o porcelana.

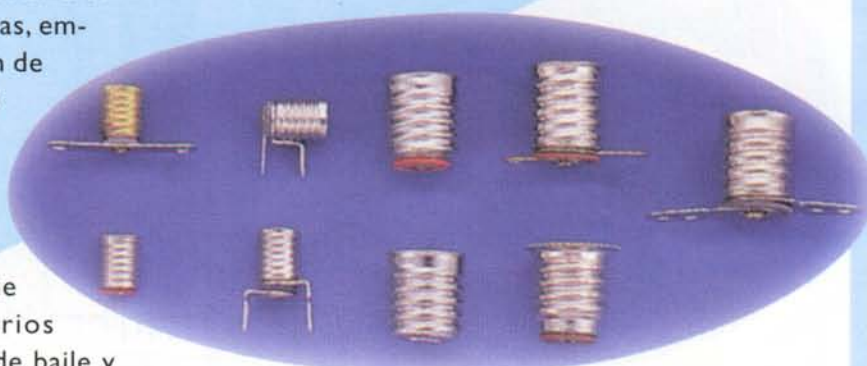


Figura 4.6. Portalámparas comunes empleados en electrónica.

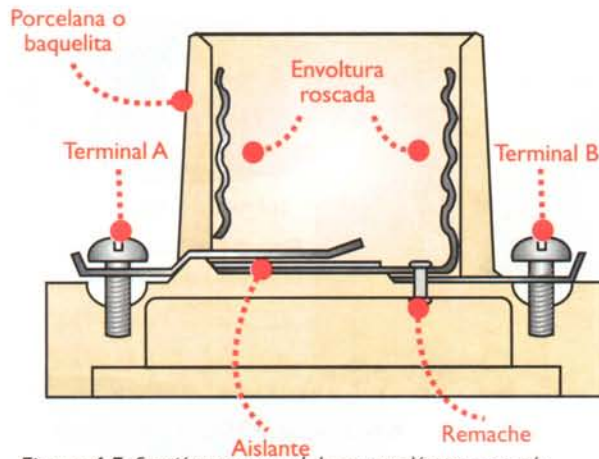


Figura 4.7. Sección transversal de un potalámpara común

Lámparas de descarga de gas

A este grupo pertenecen, entre otras, las lámparas fluorescentes, empleadas como fuentes de luz en probadores de billetes; las lámparas de neón, usadas como pilotos en los circuitos electrónicos y en avisos luminosos; y las lámparas de xenón, que emiten destellos de luz muy fuertes y son de mucho uso en discotecas.

Lámparas fluorescentes

Generan energía lumínica debido al paso de una corriente a través de un gas, figura 4.8. Constan de un tubo de vidrio con un electrodo sellado en cada uno de sus extremos, al cual, antes de sellarse, se le extrae todo el aire y se le introduce una gota de mercurio y un poco de gas inerte, generalmente argón o criptón. Además, las paredes del tubo se recubren de un polvo llamado fósforo, el cual tiene



Figura 4.8. Lámparas fluorescentes

la propiedad de irradiar luz cuando recibe la luz ultravioleta, lo que no podemos apreciar a simple vista. Requieren para su operación de otros elementos externos, como un arrancador y una bobina limitadora de la corriente. Esta última, además, provee el alto voltaje necesario para encender la lámpara. Son empleadas también en la iluminación doméstica, en discotecas y probadores de billetes.

Lámparas de xenón (estroboscópicas)

Constan de un tubo de vidrio sellado y lleno con un gas inerte llamado xenón. La lámpara tiene dos electrodos laterales llamados **cátodo** y **ánodo**, y un electrodo central llamado **disparador** o **trigger**. Para su operación se requieren de dos voltajes: uno del orden de 320V entre ánodo y cátodo, figura 4.9a, y otro, del orden de 4.000V en el disparador, figura 4.9b. Una vez el disparador recibe los 4.000V, una parte del gas xenón se ioniza, permitiendo que fluyan algunos electrones a través del gas. El resultado final de esto es la emisión de un destello de luz brillante, característico de estas lámparas. Son empleadas para generar efectos especiales, como el de cámara lenta en las discotecas, como indicadores visuales de proximidad en las alas de los aviones, cuando se quieren crear secuencias de movimientos en fotografía y en algunos tacómetros que aprovechan el rayo de luz que éstas emiten.

Nota: No se deben utilizar cerca a personas pues afectan la visión.

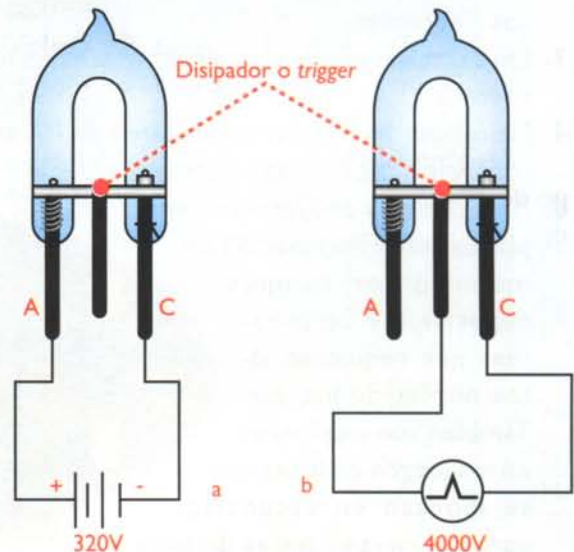


Figura 4.9. Lámpara de xenón.

Lección 5

Las pilas y las baterías

Las pilas y las baterías constituyen una de las dos principales fuentes de corriente continua, ellas aprovechan la energía desprendida de las reacciones químicas de ciertos materiales para producir la acumulación de cargas eléctricas diferentes en cada uno de sus terminales, por lo que entre ellos se produce un voltaje constante, capaz de impulsar una corriente a través de un circuito y les permite ser usadas como fuentes de alimentación en una gran variedad de aparatos electrónicos, ya sean fijos o portátiles. Dichos terminales son llamados ánodo y cátodo y se encuentran separados por una solución acuosa sólida o líquida conductora de la electricidad, la cual es llamada electrolito.



Pila o celda básica

Es la fuente de energía básica en la mayoría de los circuitos electrónicos. Las reacciones químicas que se suceden en el interior de ésta, generan constantemente cargas iguales y de signo contrario en los electrodos del elemento, manteniendo una diferencia de potencial entre ellos. En las prácticas de laboratorio, normalmente se emplea una pila o celda básica húmeda, **figura 5.1**, la cual está contenida en un recipiente anticorrosivo y que está conformada por:

1. **El electrolito:** es por lo general ácido sulfúrico diluido en agua.
2. **El ánodo o terminal positivo:** formado generalmente por una barra de cobre, que fácilmente puede perder sus electrones.
3. **El cátodo o terminal negativo:** es generalmente una barra de zinc.

Para producir reacciones químicas entre ellos, los electrodos deben sumergirse en el electrolito. Al hacer esto, el electrolito trata de disolver las dos barras que constituyen los electrodos. Como el cobre es rico en electrones libres, los pierde fácilmente y queda cargado positivamente; mientras que los electrones que se desprenden de él, se acumulan alrededor del zinc, el cual queda cargado negativamente. **Figura 5.2**

Si conectamos una carga entre estos dos metales **figura 5.3**, los electrones del terminal negati-

vo se moverán hacia el terminal positivo originando así una corriente eléctrica a través del circuito, lo cual tiende a equilibrar nuevamente las cargas, acabar con la diferencia de potencial y así detener la circulación de la corriente. Para evitar esto, el electrolito sigue desprendiendo simultáneamente electrones al cobre y pasándolos al zinc.

Después de mucho tiempo de esta operación alrededor del ánodo se adhieren unas burbujas de hidrógeno, producto de las reacciones químicas. Dichas burbujas se comportan como un aislante debido a que el hidrógeno es un mal conductor, e impiden que pasen electrones del ánodo al cátodo, reduciendo así la producción de cargas eléctricas. Debido a esto, esta clase de pilas, después de haber sido usadas cierto tiempo, quedan completamente inservibles y deben ser reemplazadas por nuevas.

Símbolos

Sin importar su estructura química, las baterías se encuentran formadas por una o varias celdas. Aquellas formadas por una sola celda reciben el nombre de **pilas**, mientras que aquellas formadas por varias celdas son las **baterías** propiamente dichas y el voltaje final entregado por ellas es igual a la suma de los voltajes de cada una de las celdas básicas. En la **figura 5.4** se muestran los símbolos empleados en electrónica para representarlas. El electrodo positivo o ánodo se identifica con el signo (+), mientras que el electrodo negativo o cátodo se identifica con el signo (-).

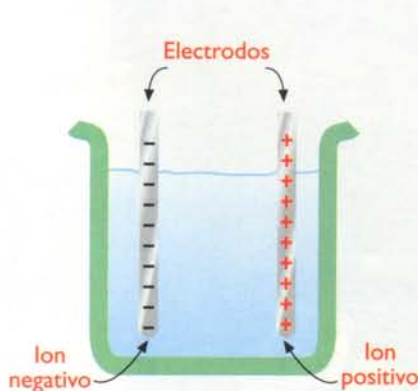


Figura 5.1. Estructura de una pila húmeda

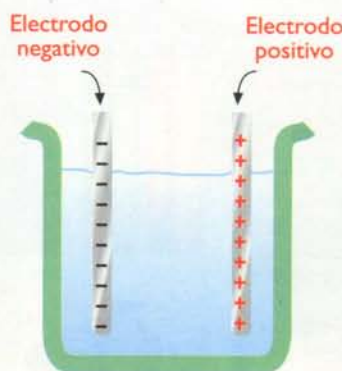


Figura 5.2. Acumulación de cargas en una pila húmeda

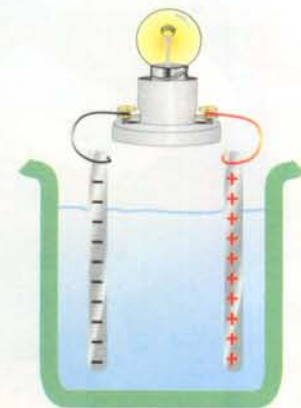


Figura 5.3 Funcionamiento de la pila húmeda

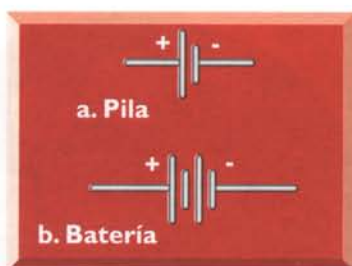


Figura 5.4. Símbolos

Clasificación

Las pilas se clasifican en dos grandes grupos, ya sea como primarias o secundarias. La principal diferencia entre ambas es que la pila secundaria es recargable, lo que significa que, cuando la reacción química que se da en su interior finaliza y ya no suministra energía, se puede recargar, es decir, se puede restablecer su estado químico original. Por el contrario, la pila primaria, no se puede recargar y cuando ya no suministra energía es necesario cambiarla por una nueva.

Pilas y baterías primarias

En este tipo de pilas y de baterías no se pueden revertir las reacciones químicas que se encargan de producir la corriente eléctrica, por lo tanto, cuando se han descargado, deben ser remplazadas por una nueva. Actualmente se utilizan diferentes tecnologías para la fabricación de este tipo de pilas y baterías, las más comunes son las de carbón-zinc, las alcalinas, las de litio y las de óxido de plata; aunque se fabrican también con otras tecnologías.

Pilas y baterías de carbón-zinc: son también llamadas pilas secas, aunque realmente no sean así. Están compuestas por las siguientes partes, figura 5.5:

1. Un cilindro de zinc que es el electrodo negativo (cátodo).
2. Una barrita de carbón, ubicada en el centro, que hace de electrodo positivo (ánodo).
3. Un electrolito formado por una pasta de amianto o de celulosa humedecida en cloruro de amonio; puede ser también una solución de cloruro de amonio o de cloruro de zinc.

Este tipo de pilas y baterías proporcionan típicamente un voltaje de 1,5V por celda. Cuando la bate-

ría se ha descargado, ya sea porque se ha secado el electrolito o porque la cubierta de zinc se ha desgastado, el voltaje entre sus terminales disminuye hasta 1,1V; en este momento es necesario remplazarla por una nueva, debido a que ha terminado su ciclo de vida útil.

El voltaje suministrado por una pila, no depende de su tamaño, sino de los materiales empleados como electrodos y de la concentración del electrolito. Por esta razón, encontramos pilas muy pequeñas que suministran el mismo voltaje que una grande; y encontramos también las pilas denominadas de trabajo pesado, las cuales tienen una alta concentración de cloruro de zinc en el electrolito y gracias a esto producen más corriente que una pila seca normal.

Las pilas secas se identifican por el voltaje que suministran y por su tamaño. Comúnmente se designan con las letras A, AA, AAA, B, C, D, E, F, G y N. **Figura 5.6**

Este tipo de pilas son muy económicas, tienen muy baja capacidad de corriente y se descargan gradualmente cuando no se están utilizando. Son usadas frecuentemente para alimentar linternas y radios.



Figura 5.5. Estructura interna de una pila de carbón-zinc.



Figura 5.6. Tamaños comerciales de las pilas y baterías secas comunes.

Las pilas y baterías alcalinas: figura 5.7. Se diferencian principalmente de las pilas secas, debido a que el electrolito es una solución fuertemente alcalina de hidróxido de potasio, el cual hace que tengan una mayor capacidad de corriente que las pilas secas, además él hace que no se descarguen tan fácilmente cuando están guardadas y que su periodo de vida útil sea más largo. Se consiguen comercialmente en las mismas presentaciones que las pilas secas y son muy empleadas en equipos de fotografía, juguetes y otras aplicaciones similares.

Las pilas y baterías de litio: Figura 5.8. Suministran 3V por celda y corrientes más altas que las

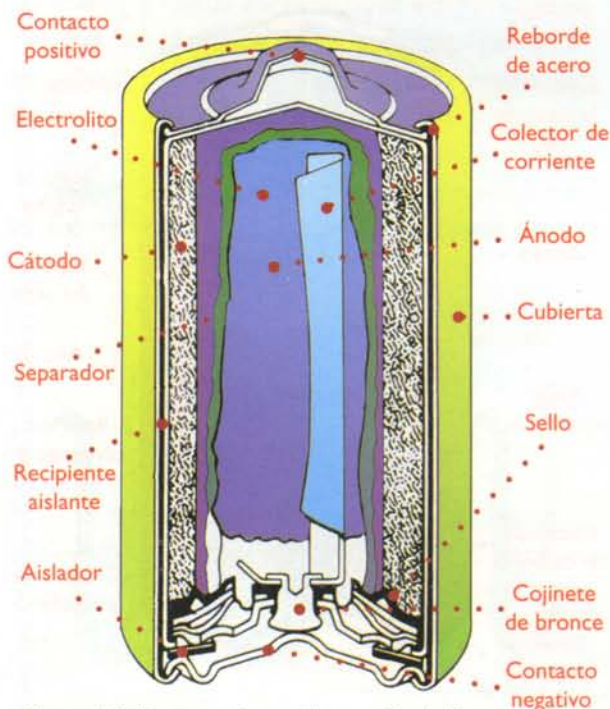


Figura 5.7. Estructura interna de una pila alcalina.

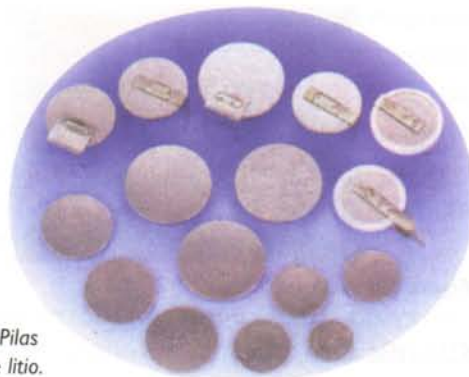


Figura 5.8. Pilas y baterías de litio.

pilas secas y las alcalinas. Están compuestas por un cátodo de dióxido de manganeso, un ánodo de litio metálico y el electrolito es una solución de dióxido de azufre. Algunas, que suministran 3,6V por celda, tienen el electrolito de cloruro de tionilo. Son empleadas principalmente como baterías de respaldo en computadoras y otros sistemas digitales. Su vida útil es de 5 a 20 años aproximadamente y son más compactas y livianas que las demás. Deben ser usadas con cuidado ya que pueden llegar a explotar si las condiciones de trabajo no son las apropiadas.

Las pilas y baterías de dióxido de plata: suministran 1,5V por celda. El ánodo es un gel de zinc pulverizado, el cátodo una combinación de óxido de plata con dióxido de manganeso y el electrolito una solución de hidróxido de sodio o de potasio. Figura 5.9. Son utilizadas principalmente en relojes y audífonos para sordos.

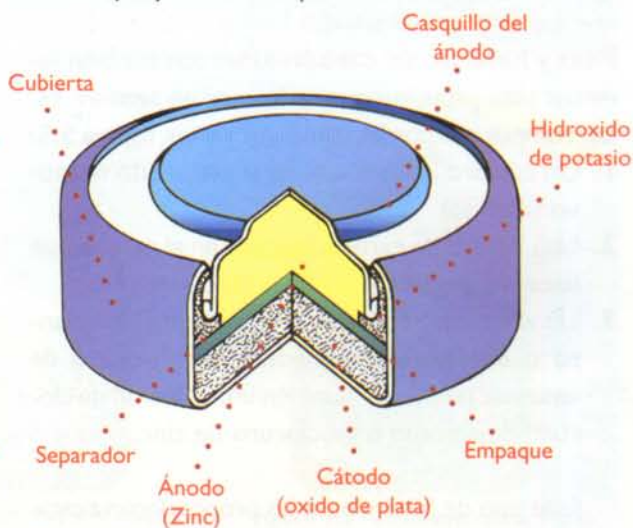


Figura 5.9. Estructura interna de una pila de óxido de plata

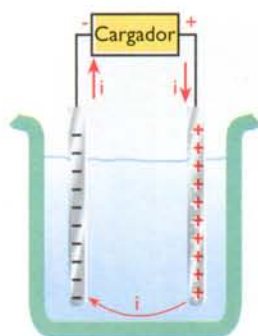


Figura 5.10. Conexión básica para la recarga de una batería

Pilas y baterías secundarias o recargables

A este grupo pertenecen aquellas en las cuales se pueden restablecer las condiciones que existían antes de que se descargaran, pues las reacciones químicas que se dan en su interior no destruyen los electrodos. Al proceso por medio del cual se restablecen las condiciones iniciales a este tipo de baterías, se le llama **recarga**, y se produce invirtiendo el flujo de la corriente, es decir suministrándole corriente continua desde una fuente externa. **Figura 5.10.** De acuerdo a los materiales con que se fabrican, pueden clasificarse en varios grupos así:

Pilas y baterías de plomo ácido: figura 5.11, suministran máximo 2,2V por celda, pero cuando están alimentando grandes cargas, su voltaje puede bajar a 2V. Cada pila o batería está conformada por:

- Un recipiente aislante, resistente a la corrosión.
- Una solución acuosa de ácido sulfúrico diluido en agua, que sirve de electrolito.
- Una placa de peróxido de plomo en forma de rejilla, que sirve de ánodo.
- Una placa de plomo también en forma de rejilla, que sirve de cátodo.

Se fabrican típicamente con voltajes de 2V, 4V, 6V, 12V y 24V. Su capacidad, que se mide en amperios



Figura 5.11. Pilas y baterías de plomo ácido

La **capacidad** de una batería, indica la cantidad de energía que puede proporcionar en condiciones específicas de descarga. Se mide en amperios-hora. Por ejemplo, si una batería tiene una capacidad de 100 Ah quiere decir que puede suministrar una corriente de 20A durante 5 horas. Si la carga es de 10A, puede durar 10 horas.

hora (Ah), puede llegar a ser muy alta, del orden de 500. Son empleadas principalmente para alimentar el sistema eléctrico en automotores y motocicletas.

Pilas y baterías de níquel-cadmio: figura 5.12, suministran 1,2V por celda. Son empleadas generalmente para alimentar teléfonos celulares, cámaras de video, computadoras portátiles, etc. Están conformadas por:

- Un ánodo de hidróxido de níquel.
- Un cátodo de cadmio metálico.
- Un electrolito de hidróxido de potasio.

Se identifican por su tamaño, por el voltaje y por la corriente que suministran. Las más comerciales son las del tipo botón, AA, AAA, C, D; y los paquetes de baterías, formadas por varias pilas interconectadas entre sí. Pueden proporcionar corrientes muy altas en forma continua y tienen una vida útil de 2 a 4 años aproximadamente. Son más costosas que las de plomo-ácido y su eficiencia se ve reducida debido al efecto *memoria*, que se produce cuando no se dejan descargar totalmente antes de recargarlas de nuevo.

Pilas y baterías de níquel-metal: suministran 1,2V por celda. Se consiguen comercialmente en las mismas presentaciones de las de níquel-cadmio y se identifican de la misma forma; además son más costosas y menos comerciales que las anteriores. **Figura 5.13**



Figura 5.12. Pilas y baterías de níquel - cadmio



Figura 5.13. Pilas y baterías de níquel-metal



Pilas de litio iónico: es una nueva tecnología, que se está introduciendo al mercado, aunque aún no son muy comerciales. Suministran 3,6V por celda y son generalmente planas. **Figura 5.14**

En la actualidad son muy populares las denominadas **celdas fotovoltaicas**, conocidas también como **celdas fotogalvánicas** o **celdas autogeneradoras**; cuando éstos dispositivos reciben luz producen un voltaje entre sus terminales. Su comportamiento es muy similar al de las pilas y demás fuentes de corriente continua, pues pueden ser conectadas en serie o en paralelo cuando se requiere obtener voltajes o corrientes mayores; además, su voltaje de salida, cuando no tienen carga, es mayor que cuando tienen carga. La conexión de pilas y baterías en serie y en paralelo, se estudia en la sección de teoría.

Tipos de celdas fotovoltaicas: las celdas fotovoltaicas pueden ser de tres tipos principalmente: de metal semiconductor, de selenio, o de silicio, siendo las dos últimas las más comerciales. El voltaje de salida de una celda fotovoltaica se mide, por lo general, sin carga y cuando está siendo iluminada por una fuente de luz estándar de 100 ft-cd (pies-candela). Las celdas de selenio suministran típicamente voltajes comprendidos entre 0,2V y 0,45V, mientras que las de silicio suministran voltajes del orden de 0,3V a 1,5V. Comercialmente se consiguen conjuntos de celdas de 12V, 24V, 28V, 32V, etc.

La capacidad de las celdas fotovoltaicas, se mide cuando éstas son iluminadas por la misma fuente de



Figura 5.14. Pilas y baterías de litio iónico.

luz estándar con que se mide el voltaje que suministran, pero ahora en condiciones de cortocircuito. Para las celdas de selenio, la corriente de salida puede variar entre 15 μ A y 800 μ A, mientras que para las de silicio, puede variar entre 5mA y 40mA.

Las celdas fotovoltaicas son empleadas con frecuencia en medición y tareas de control, principalmente en instrumentos analíticos, detectores de humo, lectores de tarjetas, detectores de exposición fotográfica, etc. Se consiguen comercialmente en forma individual, o formando parejas emisor – receptor, las cuales se encuentran acopladas espectralmente.

Una aplicación especial de las celdas fotovoltaicas, son las denominadas **celdas solares**, llamadas así porque son capaces de generar potencia eléctrica a partir de la luz solar; son empleadas en cargadores de baterías y en la operación de equipos de radio en zonas tropicales y desérticas, en naves espaciales, y en general, en todos aquellos sitios donde no se dispone de energía eléctrica convencional, o su suministro es muy costoso. **Figura 5.15**

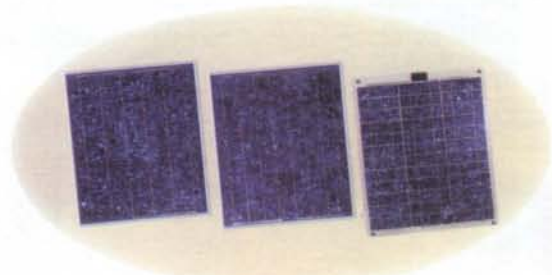


Figura 5.15. Celdas solares.

Lección 6

Las resistencias

Son los componentes más comunes en los circuitos electrónicos y los de más bajo costo. Se fabrican aprovechando la propiedad que tienen todos los materiales de ofrecer cierto grado de oposición al paso de la corriente y se emplean para controlar el paso de ella en los circuitos electrónicos.



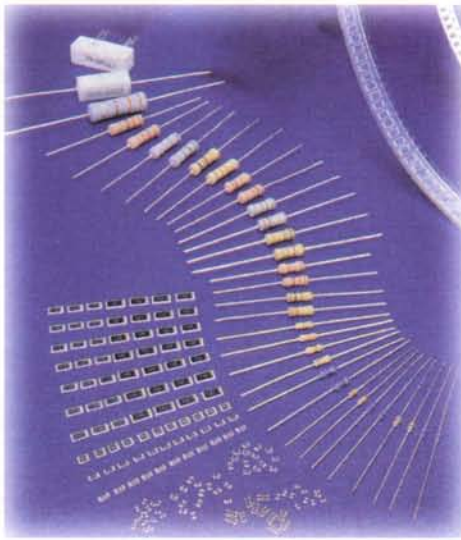


Figura 6.1. Resistencias fijas

En electrónica, con frecuencia, se requiere el uso de valores específicos de oposición al paso de la corriente, por esta razón se fabrican dispositivos especiales con el fin de que proporcionen entre sus terminales valores conocidos de resistencia. A los dispositivos diseñados con este propósito, se les conoce también con el nombre de **resistencias** (*resistors*), y su unidad de medida es el ohmio (Ω).

Las resistencias pueden clasificarse principalmente en dos categorías: **fijas** o **variables**, dependiendo de si su valor es fijo o puede modificarse por algún medio; cada uno de estos tipos a su vez pueden subdividirse en otras categorías dependiendo de varios factores.

Las resistencias fijas

Figura 6.1, son aquellas que presentan un solo valor de resistencia entre sus terminales, su símbolo es el que se muestra en la figura 6.2



Figura 6.3. Estructura interna de las resistencias fijas



Figura 6.2. Símbolos de las resistencias fijas y variables

Clasificación

Las resistencias fijas pueden clasificarse en varias categorías dependiendo de:

- El material en que están elaboradas el cual depende del uso específico que se le da a cada una de ellas, así por ejemplo: las resistencias de potencia están fabricadas con **aleaciones metálicas**, mientras que las de uso común en electrónica son hechas de **carbón**, debido a que este material posee una alta resistencia, lo cual permite que sean pequeñas físicamente, pero que ofrezcan un alto grado de oposición al paso de la corriente. La fabricación de las resistencias de carbón y las de aleaciones metálicas es muy diferente; su estructura interna se observa en la figura 6.3.

En las resistencias de carbón, pequeñas cantidades de este material se depositan en el interior de un cilindro aislante donde sus terminales se conectan a dos contactos metálicos, mientras que en las resistencias fabricadas con aleaciones metálicas, el alambre se enrolla alrededor de un cilindro aislante, y luego es recubierto con algún material también aislante, generalmente porcelana. Comercialmente se consiguen resistencias hechas con otras tecnologías como son las resistencias de película de carbón y las de película metálica.



Figura 6.4. Resistencias para montaje por inserción

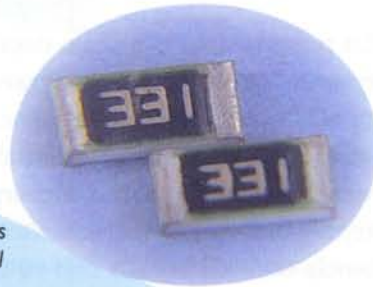


Figura 6.5. Resistencias para montaje superficial

- Las resistencias se clasifican también dependiendo del método de instalación en los circuitos electrónicos; así pueden ser para montaje por inserción, **figura 6.4**, cuando se instalan a través de orificios que se hacen sobre la placa del circuito impreso; o para montaje superficial, las cuales son muy pequeñas y se sueldan directamente sobre las pistas del circuito impreso, **figura 6.5**.

¿Qué debemos tener en cuenta cuando seleccionamos una resistencia?

El valor especificado en ohmios: debido al tamaño reducido de las resistencias utilizadas en la mayoría de los circuitos electrónicos, su valor se indica por medio de una secuencia de colores en forma de cuatro o cinco bandas que se leen de izquierda a derecha, comenzando por la que esté más próxima al extremo. A cada color le corresponde un número y viceversa; a este método se le ha llamado “**código de colores**”.

En el código de las cuatro bandas, que es el más común, la primera banda representa la primera cifra, la segunda banda es la segunda cifra y la tercera

banda es el multiplicador o sea el número de ceros que siguen después de las dos primeras cifras o números. La cuarta banda, generalmente de color dorado o plateado indica la tolerancia, o precisión lo cual explicaremos más adelante, **figura 6.6**.

No se preocupe si no puede memorizar rápidamente el código de colores, poco a poco y con la práctica, irá familiarizándose con él y rápidamente estará leyendo las resistencias como lo haría una persona experimentada, quien con solo mirarla reconoce su valor.



Figura 6.6. Código de colores

Para familiarizarnos con la lectura del código de colores, analicemos los siguientes ejemplos: **figura 6.7**.

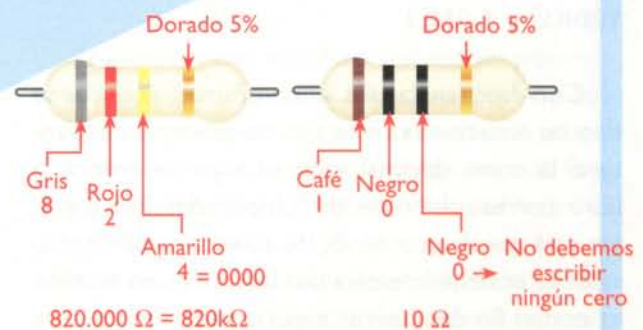


Figura 6.7. Ejemplos de aplicación del código de colores

E24	E12
10	10
11	
12	12
13	
15	15
16	
18	18
20	
22	22
24	
27	27
30	
33	33
36	
39	39
43	
47	47
51	
56	56
62	
68	68
75	
82	82
91	

Tabla 6.2

Valores normalizados

Los valores de las resistencias, de uso común en electrónica, se han normalizado solo con ciertos valores ya que sería imposible tenerlos todos. Así, por ejemplo, la serie E12 se emplea para las resistencias con el 10% de tolerancia y recibe este nombre porque comprende 12 valores; la serie E24 ha sido normalizada para las resistencias del 2% y del 5% de tolerancia y se llama así porque comprende 24 valores. **Tabla 6.2.** Note que los valores de la serie E12 se repiten en la serie E24, éstos son los más usados.

¿Para qué sirven dichas series?

Las dos cifras de la serie E12 o de la serie E24, son multiplicadas por múltiplos o submúltiplos de 10 y éstos son los valores que se encuentran en

el comercio especializado. Por ejemplo, si tomamos el valor 12 de la tabla de valores normalizados y aplicamos los multiplicadores, obtendremos:

0,12Ω, 1,2Ω, 12Ω, 120Ω, 1.200Ω, 12.000Ω, 120.000Ω y 1.200.000Ω

Podemos evitar la escritura de números tan grandes mediante el empleo de las convenciones comunes utilizando los múltiplos así: la letra K que equivale a multiplicar por 1.000 y la letra M que equivale a multiplicar por 1.000.000. Entonces los valores anteriores quedarían expresados como:

0,12Ω, 1,2Ω, 12Ω, 120Ω, 1,2KΩ, 12KΩ, 120KΩ y 1,2MΩ

Con frecuencia nos encontramos con cierto tipo de notaciones en las que no se emplea el punto o la coma decimal y en su lugar se coloca la letra correspondiente al multiplicador. Por ejemplo en lugar de escribir 5,1K, se escribe 5K1; esto se debe principalmente a dos factores: uno de ellos es con el fin de ahorrar espacio y el otro es para evitar que, a medida que se reproduzca el circuito

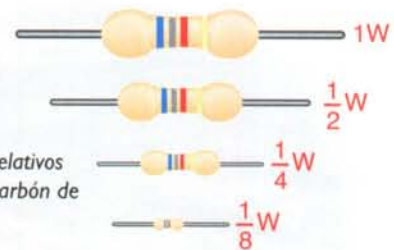


Figura 6.8. Tamaños relativos de las resistencias de carbón de acuerdo a su potencia

mediante fotocopias, se borre dicho punto; si esto llegara a suceder podríamos confundir una resistencia de 4,7K con una de 47K, lo que sin lugar a duda afectaría el funcionamiento del circuito, impidiendo tal vez su funcionamiento.

La potencia: es el trabajo desarrollado por la corriente eléctrica al circular a través de la resistencia, se manifiesta por la emisión de calor y se especifica en vatios. En las resistencias de alambre dicho valor viene especificado sobre el cuerpo del componente, mientras que en las resistencias de carbón la potencia está relacionada con su tamaño físico, así: a mayor tamaño, mayor potencia puede disipar y viceversa. En la **figura 6.8**, se muestran los tamaños relativos para las resistencias de 1/8W, de 1/4W, de 1/2W y de 1W. Para calcular la potencia que debe disipar una resistencia dentro de un circuito y poder hacer la elección correcta, debemos calcularla en función de la corriente que circulará a través de ella y elegir la resistencia inmediatamente superior; por ejemplo: si por una resistencia de 4,7KΩ circula una corriente de 10mA, la potencia disipada será:

$$P = I^2 \times R$$

$$P = (10\text{mA})^2 \times (4,7\text{K}\Omega)$$

$$P = 0,47\text{W}$$

Debemos elegir la resistencia cuya potencia sea inmediatamente superior, es decir, una de 0,5W, por lo tanto, en nuestro circuito debemos usar una resistencia de 4,7KΩ a 1/2W o superior, de lo contrario ella se sobrecalentará y podrá llegar a destruirse.

¿Cómo se prueban? En la práctica las resistencias se prueban mediante el uso del multímetro análogo o el digital así: (**Figura 6.9**)

1. Coloque la perilla selectora en la función de ohmios (Ω) y en el rango apropiado. Este rango



Figura 6.9. Prueba de las resistencias con el multímetro

depende del valor tentativo que usted dio a la resistencia que va a medir; si no conoce el valor tentativo de la resistencia, debe colocar el selector del rango en su máxima posición.

2. Conecte el terminal de prueba rojo en el orificio marcado (+) y el terminal negro en el marcado (-).
3. Ponga en cortocircuito los dos terminales de prueba y ajuste en cero la aguja en la escala de ohmios.



Figura 6.10. Potenciómetros

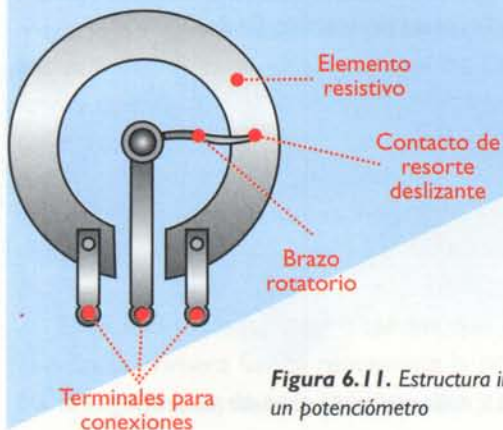


Figura 6.11. Estructura interna de un potenciómetro



Figura 6.11. Símbolo de los potenciómetros

4. Tome la resistencia que desea medir, toque con las dos puntas de prueba sus terminales (no importa cual) y lea en la escala en ohmios (Ω).
5. Para conocer el valor de la resistencia se debe multiplicar el valor leído en la escala por el rango que señale la perilla.

La prueba y medida de resistencias se estudia detalladamente en la sección de electrónica práctica.

La tolerancia: con ella el fabricante nos está garantizando que el valor de la resistencia está comprendido dentro de un rango de valores mayor o menor a un tanto por ciento (%) del valor nominal, es decir, del valor que se encuentra marcado sobre el cuerpo de la resistencia. Por ejemplo: una resistencia con una tolerancia del 5%, cuyo valor nominal es 1000Ω , podrá tener realmente entre sus terminales un valor de resistencia comprendido entre los 950Ω y los 1.050Ω . Ésta se indica por medio de la cuarta banda en el código de colores.

Resistencias variables

A este grupo pertenecen aquellas resistencias cuyo valor puede variar dependiendo de la acción de agentes externos, como por ejemplo: los medios mecánicos, la temperatura, la luz, etc. En esta lección nos ocuparemos de aquellos accionados por medios mecánicos; los demás tipos serán estudiados detalladamente en lecciones posteriores.

Las resistencias variables accionadas por medios mecánicos, **figura 6.10**, además de los dos terminales fijos, poseen un tercer terminal o brazo móvil, el cual está sujeto a un eje central. Éste puede desplazarse a lo largo del material resistivo y, **figura 6.11** nos permite tomar solamente los valores de resistencia que necesitamos. Dichas resistencias reciben el nombre de potenciómetros y se representan como se muestra en la **figura 6.12**



Figura 6.13. Potenciómetros para instalación en el chasis y en los circuitos impresos

Clasificación

Los potenciómetros pueden clasificarse en varias formas así:

- De acuerdo a la forma de instalación, pueden ser: para *chasis* o para circuito impreso. **Figura 6.13.** En los potenciómetros para *chasis*, sus ejes sobresalen hacia el exterior y poseen un mecanismo para facilitar su manipulación; por lo general la carcasa es roscada lo que permite sujetarlos al equipo con la ayuda de una tuerca. Son más robustos que los de circuito impreso ya que deben ser manipulados un gran número de veces, por lo que además deben ser muy resistentes al desgaste mecánico.
- Dependiendo de si son diseñados para variar constantemente su valor o para ser ajustados en un valor determinado, pueden ser **variables** o **ajustables**. Los **potenciómetros de ajuste**, **figura 6.14**, son generalmente pequeños y se instalan en el interior de los equipos y sistemas electrónicos mediante la inserción de sus terminales en las placas de los circuitos impresos, donde son prácticamente inaccesibles para los usuarios.
- Dependiendo del material en que están fabricados pueden ser de **carbón**, de **alambre**, o de **plástico conductor** formado por una mezcla de metales preciosos y vidrio o polvo cerámico.
- Dependiendo del número de vueltas que pueda dar el eje central, pueden ser **de una vuelta**, la cual es de aproximadamente 270° o **de varias vueltas**, llamados también **multivuelta**, **figura 6.15**; éstos en general son potenciómetros de ajuste, empleados en aquellos circuitos donde se requiere un alto grado de precisión. El recorrido total de su resistencia se efectúa con aproximadamente 10 a 20 vueltas de su eje central, el cual es un tornillo sinfín.



Figura 6.14. Potenciómetros de ajuste

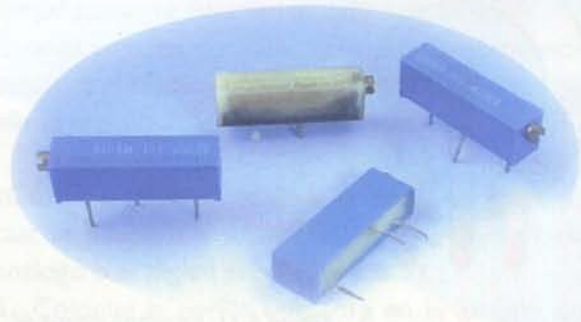


Figura 6.15. Potenciómetros multivuelta (trimmer)

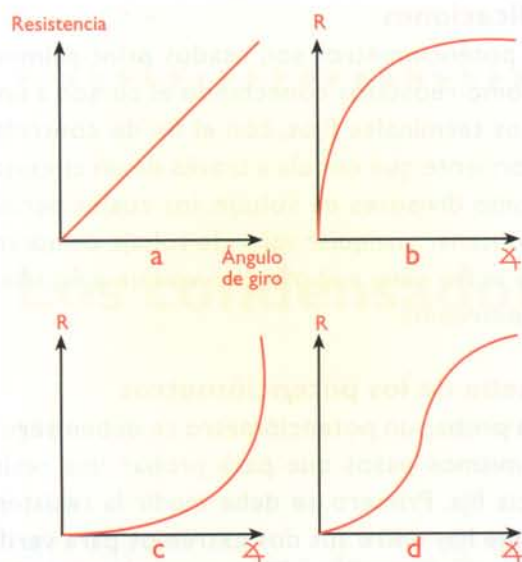


Figura 6.16. Curvas de la variación de la resistencia de los potenciómetros, de acuerdo al desplazamiento del cursor

Según la forma como varía su resistencia pueden ser:

1. **Potenciómetros lineales:** cuando el valor de la resistencia aumenta o disminuye en forma directamente proporcional al ángulo de rotación, o al número de vueltas que ha dado el eje central. Se identifican porque están marcados con la letra **B**. Figura 6.16a.
2. **Potenciómetros logarítmicos:** son usados principalmente en circuitos de audio, por lo que están diseñados para ser instalados en el *chasis* de los equipos electrónicos. Éstos, a su vez, pueden ser de tres tipos:
 - a. **De variación logarítmica positiva:** en este tipo de potenciómetros, el valor de la resistencia aumenta de manera muy rápida al principio del giro, mientras que al final del giro lo hace de manera muy lenta. Figura 6.16b
 - b. **De variación logarítmica negativa:** en éstos la variación de la resistencia es totalmente opuesta a los anteriores; es muy lenta al principio y se hace muy rápida al final del giro. Figura 6.16c
 - c. **De variación bilogarítmica:** no son muy comerciales, combinan el efecto producido por los otros dos, su resistencia aumenta muy lentamente al principio del giro, rápidamente en los valores medios, y nuevamente se hace lenta al final del giro. Figura 6.16d

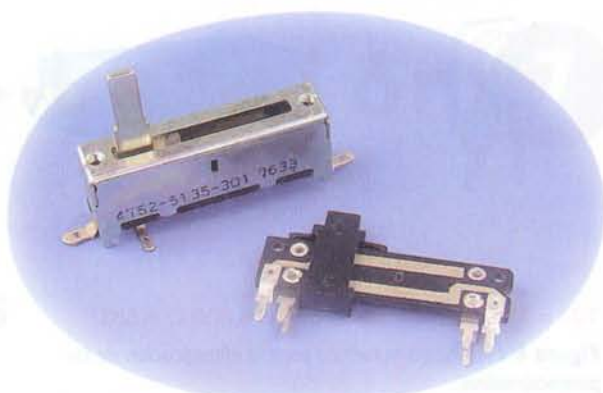
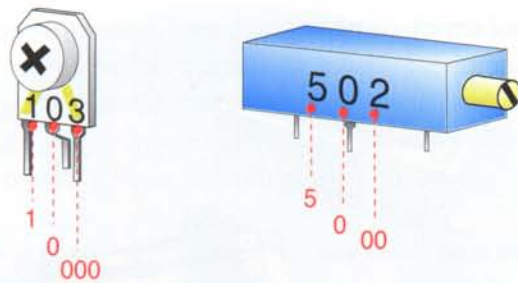


Figura 6.17. Potenciómetros deslizables

- Existen además los denominados **potenciómetros múltiples**, los cuales están conformados por dos o más potenciómetros acoplados mecánicamente entre sí. Dentro de esta categoría los más comunes son los **potenciómetros dobles**, conformados simplemente por dos potenciómetros independientes los cuales son accionados por un eje común. Son empleados principalmente en circuitos amplificadores y circuitos de control de tonos o ecualizadores estereofónicos, donde es necesario controlar ambos canales al mismo tiempo. Figura 6.17
- En todos los potenciómetros estudiados hasta ahora la variación de la resistencia se produce mediante el giro del cursor. Existe también un tipo especial de potenciómetros denominados **deslizables** o **longitudinales**, en los cuales la variación de la resistencia se obtiene desplazando de un lado al otro el cursor o mando situado en la parte superior. Son muy usados en los ecualizadores de sonido. Figura 6.18



Figura 6.18. Potenciómetros dobles



$103 = 10.000\Omega = 10k\Omega$ $502 = 5.000\Omega = 5k\Omega$

Figura 6.19. Código numérico para la identificación de los potenciómetros

¿Qué debemos tener en cuenta cuando seleccionamos un potenciómetro?

El valor: dependiendo del tipo y el tamaño del potenciómetro, el valor de su resistencia puede especificarse de varias formas. Generalmente el dato que viene impreso en el cuerpo de los potenciómetros es su valor nominal, es decir el valor de la resistencia medida entre sus extremos. Comúnmente se manejan dos series: una comprende los múltiplos de 1, de 2,2 y de 4,7 y la otra los múltiplos de 1, de 2,5 y de 5. En algunos tipos de potenciómetros, especialmente en los de ajuste y los multivuelta, su valor está marcado con un tipo de notación especial conformada por tres cifras que se leen tal como se indica en la **figura 6.19**.

La tolerancia y la potencia disipada: son especificadas claramente sobre el cuerpo de los potenciómetros.

Aplicaciones

Los potenciómetros son usados principalmente como reóstatos conectando el cursor a uno de los terminales fijos, con el fin de controlar la corriente que circula a través de un circuito; o como divisores de voltaje, los cuales permiten obtener cualquier valor de voltaje comprendido entre cero y el máximo voltaje aplicado a sus extremos.

Prueba de los potenciómetros

Para probar un potenciómetro se deben seguir los mismos pasos que para probar una resistencia fija. Primero, se debe medir la resistencia que hay entre sus dos extremos para verificar que corresponda con la especificada sobre su cuerpo. Luego, se debe verificar si la resistencia varía correctamente a medida que se desplaza el cursor. Para hacerlo conecte uno de los terminales del multímetro en uno de los extremos, y el otro, conéctelo al terminal central y mueva la perilla del potenciómetro; a medida que usted hace esto, la aguja del multímetro debe moverse en el intervalo de valores comprendidos entre 0Ω y el valor medido entre sus extremos. La prueba de potenciómetros con el multímetro se estudia en detalle en la sección de electrónica práctica. **Figura 6.20**

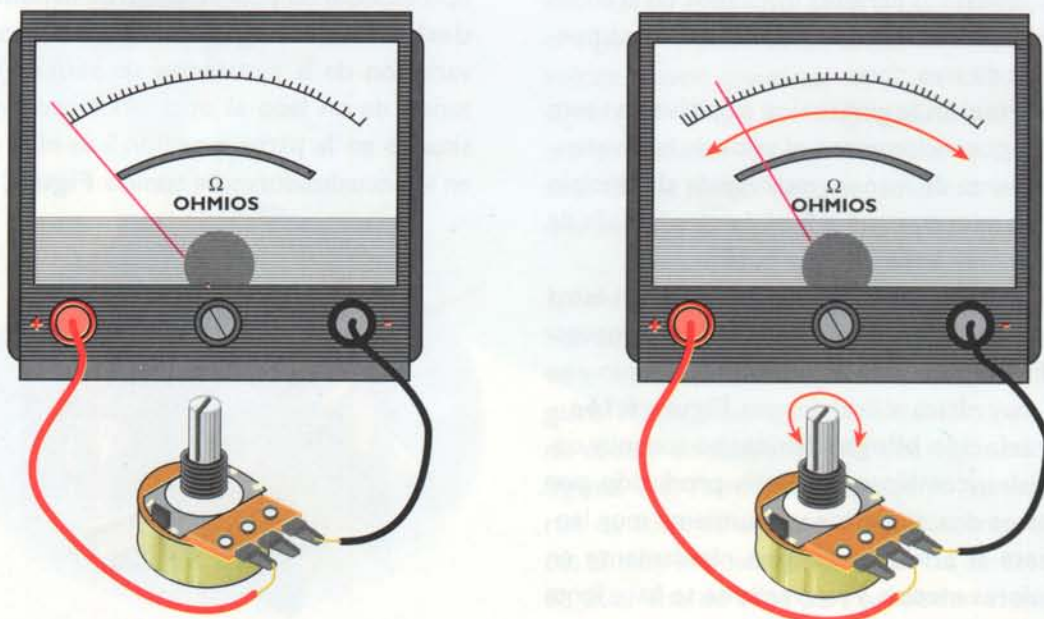


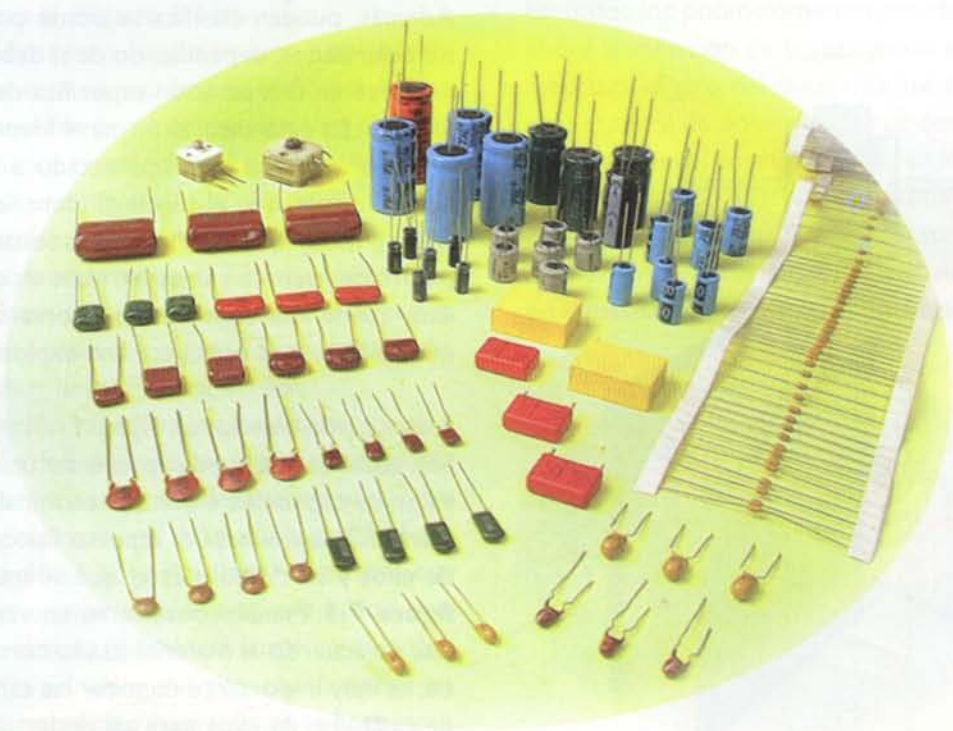
Figura 6.20. Prueba de los potenciómetros con el multímetro



Lección 7

Los condensadores

Son, después de las resistencias, los componentes más usados en los circuitos electrónicos. Su principal característica es que tienen la capacidad de almacenar energía eléctrica en forma temporal.



Los condensadores (*capacitors*) están conformados básicamente por dos placas metálicas conductoras separadas por un material aislante llamado **dieléctrico**, el cual puede ser de papel, cerámica, aire, mica, cuarzo y fibras sintéticas, entre otros.

Sin importar el dieléctrico o la apariencia física de un condensador simple, éste siempre tiene dos terminales los cuales se encuentran conectados internamente a las placas metálicas. **Figura 7.1**

El valor de un condensador expresa la habilidad que éste tiene para almacenar cargas eléctricas, la cual es denominada **capacidad** (*capacity*) y se representa mediante la letra **C**. Dicha capacidad depende principalmente del tamaño de las placas y de la separación entre ellas.

Su unidad de medida es el **faradio (f)**; sin embargo, un faradio es una unidad muy grande y no se utiliza en la práctica. Debido a esto, los condensadores reales se fabrican con capacidades iguales a submúltiplos de la unidad fundamental; como son el **microfaradio μf** (1×10^{-6}), el **nanofaradio nf** (1×10^{-9}) y el **picofaradio pf** (1×10^{-12}).

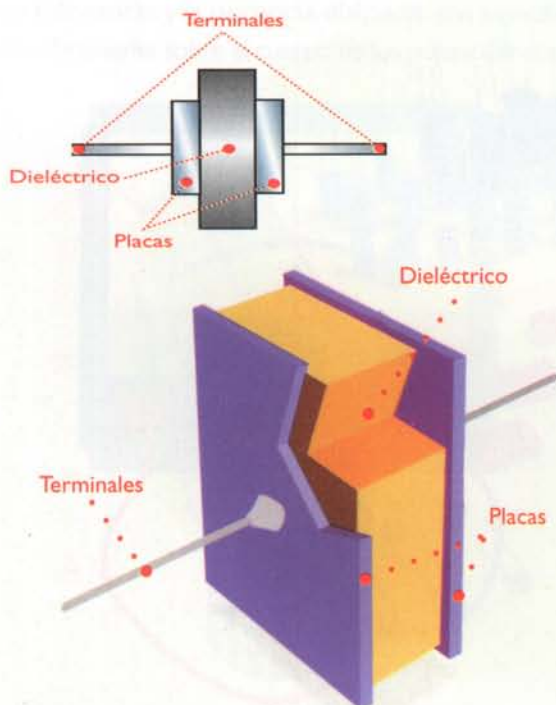


Figura 7.1. Estructura básica de un condensador fijo



Figura 7.2. Condensadores fijos



Figura 7.3. Símbolos de los condensadores fijos

Clasificación

Los condensadores, al igual que las resistencias, pueden clasificarse principalmente en dos categorías: **fijos** y **variables**, dependiendo de si su capacidad es fija o puede modificarse por algún medio. Además, pueden clasificarse como polarizados y no polarizados, dependiendo de si deben o no conectarse en una posición específica dentro de un circuito. En este caso, el terminal identificado con el signo (+) debe estar conectado a un nivel de voltaje mayor que el terminal identificado con el signo (-). Hay que ser muy cuidadosos en el momento de hacer la conexión, pues en caso de que éste quede mal conectado se corre el riesgo de que se dañe o se produzca una explosión.

Los condensadores fijos

Son aquellos que pueden presentar únicamente un valor de capacidad entre sus terminales. En la **figura 7.2** se muestra el aspecto físico de algunos de ellos y su símbolo es el que se muestra en la **figura 7.3**. Pueden clasificarse en varias categorías de acuerdo al material usado como dieléctrico; es muy importante conocer las características de cada uno de ellos para así poder usarlos de la manera más adecuada.

Condensadores cerámicos

Están constituidos por un disco de material cerámico el cual, además de desempeñarse como dieléctrico, actúa como un soporte cuyas superficies interior y exterior están metalizadas con plata y sobre ellas se sueldan los terminales, **figura 7.4**. Todo este conjunto se recubre con un material aislante. Son los más apropiados para ser usados en aquellos equipos o sistemas electrónicos que manejan altas frecuencias de operación. Se fabrican con capacidades comprendidas entre los 0,5pF y los 100nf. En la **figura 7.5** se muestra la estructura interna típica de este tipo de condensadores.

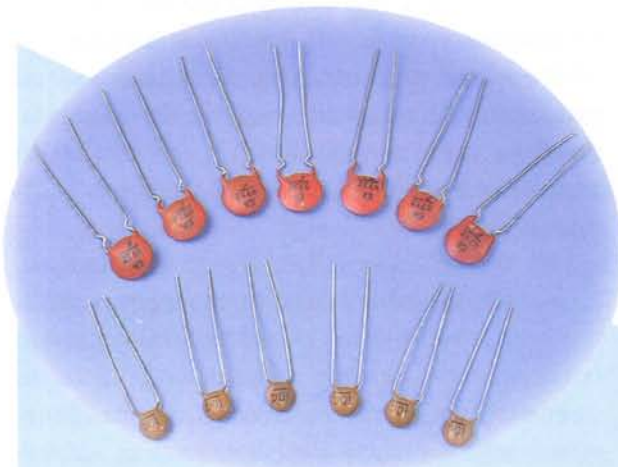


Figura 7.4. Condensadores cerámicos

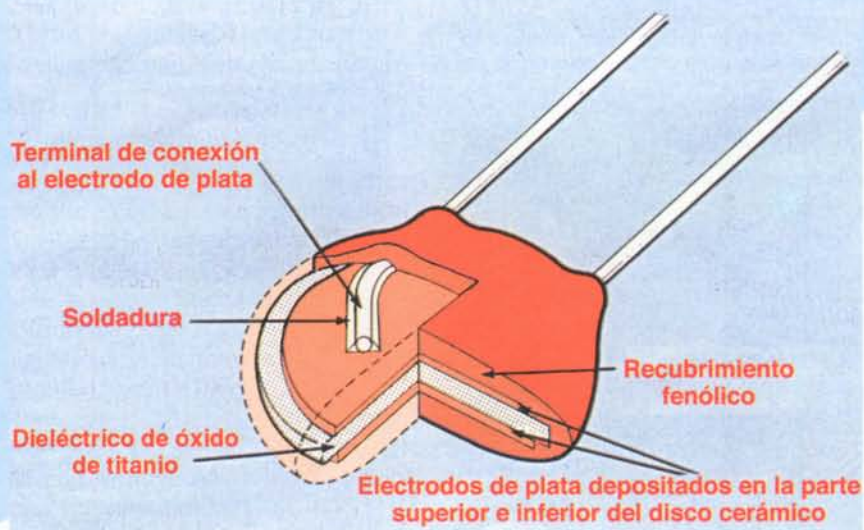


Figura 7.5. Estructura interna típica de los condensadores cerámicos

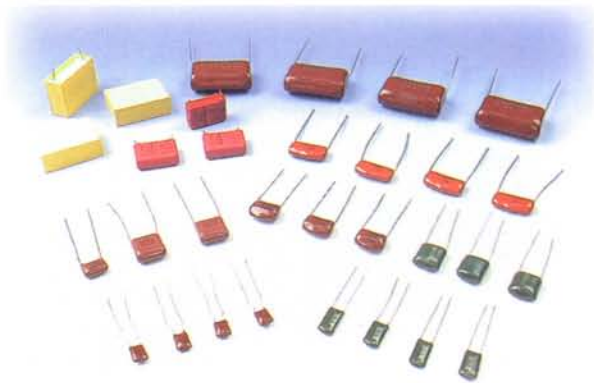


Figura 7.6. Condensadores de película plástica

Condensadores de película plástica

Ésta puede ser de poliestireno, propileno, policarbonato, estiroflex, milar, poliéster, etc, **figura 7.6**. Se fabrican con dos cintas muy finas de este material las cuales se encuentran metalizadas por una cara, dejando en el borde de cada una de ellas una banda sin cubrir, en lados opuestos. Dichas cintas, se enrollan en si mismas y cada uno de los terminales está unido a una de las cintas metalizadas. Todo lo anterior está recubierto con una capa de material aislante. Son usados principalmente en circuitos que manejan frecuencias bajas o medias y como condensadores de paso. En algunas ocasiones, se utilizan para altas frecuencias; sin embargo presentan pérdidas con frecuencias superiores a



Figura 7.7. Estructura interna típica de los condensadores de película plástica

1MHz. Se fabrican con capacidades relativamente altas y voltajes de operación hasta de 1.000V. En la figura 7.7 se observa la estructura interna de un condensador de película plástica.

Condensadores de papel

Su dieléctrico es de papel parafinado y su capacidad está comprendida entre los 100pf y 1mf.

Condensadores de mica

Reciben este nombre debido a que su dieléctrico es de mica. Son usados principalmente en aquellos circuitos donde se necesita una gran estabilidad y altos voltajes de operación, debido a que la mica es un material muy estable y un gran aislante. Se fabrican con capacidades comprendidas entre 1pf y 100nf.



Figura 7.8. Condensadores electrolíticos de aluminio

Todos los condensadores mencionados hasta ahora no son polarizados. Dentro de la gran variedad de condensadores fijos, existe un tipo especial el cual es polarizado; éstos son los llamados **condensadores electrolíticos**.

Condensadores electrolíticos

Se fabrican con capacidades mucho mayores que los anteriores y pueden ser a su vez de dos tipos:

a. Condensadores electrolíticos de aluminio:

Están formados por una fina banda de aluminio conectada al terminal positivo, recubierta por una capa de óxido de aluminio que se comporta como dieléctrico, sobre ésta se coloca una capa de papel humedecido en un líquido conductor llamado electrolito y finalmente otra capa de aluminio, la cual está conectada al terminal negativo del condensador. Estas capas son enrolladas e introducidas en un tubo de aluminio el cual es cerrado herméticamente. **Figura 7.8**

Son usados principalmente en circuitos de filtro, para desacoples en bajas frecuencias y como condensadores de paso. Su comportamiento no es bueno para altas frecuencias. Se fabrican generalmente con capacidades superiores a 1mf. So-

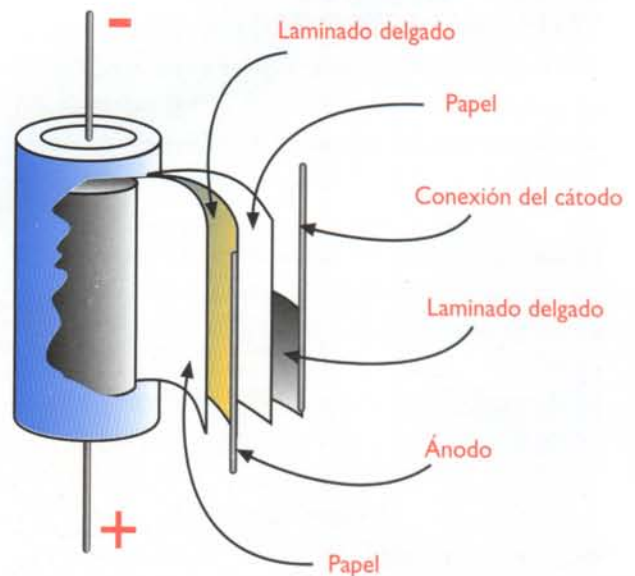


Figura 7.9. Estructura interna típica de los condensadores electrolíticos de aluminio

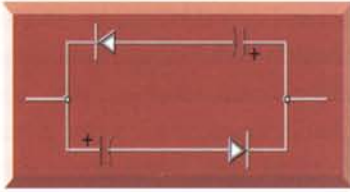


Figura 7.10. Condensadores electrolíticos no polarizados

bre su cuerpo se encuentran claramente especificados su capacidad, su tolerancia, su temperatura, el voltaje máximo de operación y una indicación de su polaridad, es decir, un signo (+) ó lo que es más frecuente un signo (-) justo al lado del terminal negativo. En la **figura 7.9** se muestra la estructura interna de un condensador electrolítico de aluminio.

Los condensadores electrolíticos son por lo general polarizados, sin embargo, en ocasiones necesitará usar o escuchará hablar de los condensadores electrolíticos no polarizados. Éstos se construyen conectando dos condensadores electrolíticos normales, tal como se indica en la **figura 7.10**. Los diodos tienen la función de evitar el flujo de corrientes inversas.

b. Condensadores electrolíticos de tantalio:

Su estructura interna es muy similar a la de los condensadores electrolíticos de aluminio, con la diferencia que en lugar de aluminio se usa una lámina de tantalio recubierto de una fina capa de óxido de tantalio amorfo, el cual tiene un mayor poder aislante que el óxido de aluminio; su electrolito suele ser seco. Son usados principalmente

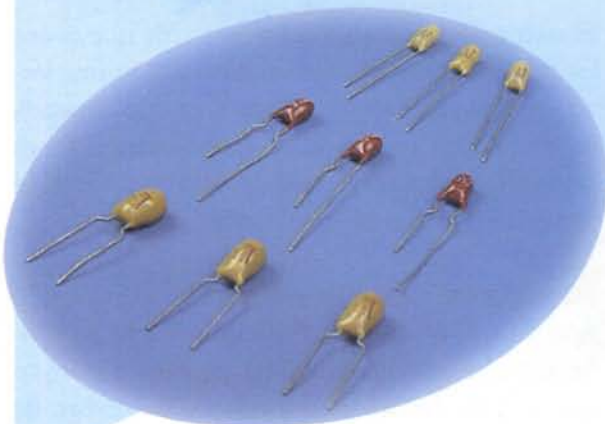


Figura 7.11. Condensadores electrolíticos de tantalio

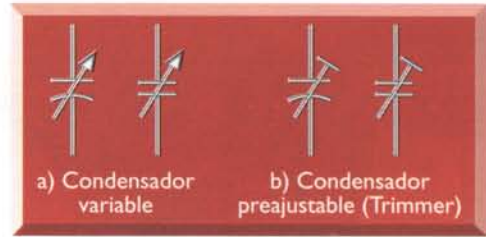


Figura 7.12. Símbolos de los condensadores variables

como condensadores de paso en circuitos de baja frecuencia y se fabrican generalmente en forma de gota, aunque los hay también tubulares y su principal ventaja es su tamaño reducido. También son condensadores polarizados, por lo que tienen la indicación de la polaridad en sus terminales. **Figura 7.11**

Los condensadores variables

Nos permiten obtener valores de capacidad comprendidos entre un valor máximo y un valor mínimo preestablecidos por el fabricante. Son accionados por medios mecánicos y dependiendo de si son diseñados para variar constantemente su valor o para ser ajustados a un valor determinado, pueden clasificarse como **condensadores variables** y como **condensadores ajustables**. En la **figura 7.12** se observan los símbolos usados para representarlos.

En los **condensadores variables**, **figura 7.13**, sus láminas metálicas son móviles. La mitad de ellas están fijas y la otra mitad pueden accionarse mediante un eje, y hacer que entren en las ranuras que separan a las primeras variando así la superficie enfrentada entre las placas. Dependiendo de su valor



Figura 7.13. Condensadores variables

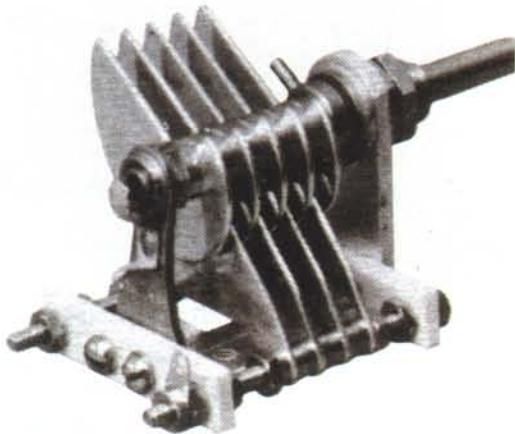


Figura 7.14. Estructura interna de los condensadores variables

pueden tener dos o más placas; son relativamente robustos debido a que deben soportar un gran número de manipulaciones y su dieléctrico es por lo general el aire. Son empleados principalmente en los circuitos de sintonía de los receptores de radio. Su capacidad puede variar entre los 5pf y los 500pf típicamente. En la **figura 7.14** se muestra la estructura interna de este tipo de condensadores.

Los dieléctricos empleados en los **condensadores ajustables** pueden ser: mica, vidrio, aire o cerámica, o una combinación de ellos, por ejemplo: mica-aire, cerámica-aire, etc. Se basan también en la variación de la superficie enfrentada entre las placas o la distancia que exista entre ellas. Son más frágiles que los ya que normalmente se ajustan al valor deseado y se fijan para que no se muevan de nuevo. Son usados por lo general para compensar o ajustar pequeñas diferencias en la calibración de los equipos y sistemas electrónicos. Son conocidos también como *trimmers* y su capacidad es de muy pocos picofaradios.

Actualmente se dispone comercialmente de condensadores en estado sólido denominados **varactores** o **varicaps**. Son condensadores variables, pero a diferencia de los ya mencionados, su capacidad no varía por medios mecánicos, sino en función de un voltaje externo aplicado a sus terminales. Pueden proporcionar capacidades inferiores a los 0,4 pf (usadas en microondas), hasta superiores a los 2.000 pf (para tareas de alta fre-

cuencia). Se usan principalmente en circuitos de sintonía de radio y televisión, en circuitos multiplicadores de frecuencia, etc.

¿Qué debemos tener en cuenta cuando seleccionamos un condensador?

La capacidad: es la posibilidad de acumulación de carga eléctrica de un condensador cuando se aplica un voltaje determinado; ésta depende del tamaño y la distancia entre las placas así como del material usado como dieléctrico. Como lo habíamos mencionado anteriormente, la unidad de medida de la capacidad es el faradio.

La tolerancia: nos indica los valores máximo y mínimo que podrá tener la capacidad del condensador.

El voltaje de operación: es el voltaje máximo que puede soportar un condensador sin destruirse.

El coeficiente de temperatura: nos indica la variación de la capacidad de un condensador con el aumento de la temperatura. Se expresa por lo general en ppm/°C (partes por millón por grado centígrado) y dependiendo de si la capacidad aumenta, disminuye, o permanece constante con las variaciones de la temperatura, puede ser positivo (P), negativo (N), o cero. Siempre que se reemplace un condensador, el sustituto debe tener el mismo coeficiente de temperatura.

El uso que se le va a dar: recuerde que todos los condensadores no responden de la misma forma a diferentes señales de entrada; esto depende del dieléctrico empleado en su fabricación. Tenga siempre presente este aspecto antes de decidirse por un tipo en particular.

Formas de identificación

Anteriormente, el valor de la capacidad de los condensadores se indicaba usando el mismo método que para las resistencias: mediante un código de colores con las mismas equivalencias.

En la actualidad se consiguen comercialmente unos pocos ejemplares de este tipo, ya que este código ha dejado de usarse con el correr del tiempo y, cuando no se especifica claramente el valor de la capacidad en microfaradios, nos encontramos con una serie de letras y números que a simple vista puede parecer que no tienen relación con lo estudiado hasta ahora. Los condensadores identificados con este tipo de codificación han sido fabricados en el Japón y la identificación de su capacidad está codificada de acuerdo a las normas industriales estándar del Japón, conocidas como código JIS (*Japan Industrial Standard*). En el esquema de la **figura 7.15**, se indica la forma de utilizar este código.

¿Qué significan las letras y números impresos sobre el condensador?

El primer número y la primera letra se refieren al

voltaje máximo de operación; los tres números siguientes indican el valor de la capacidad en picofaradios, así: los dos primeros números corresponden a las dos primeras cifras significativas de la capacidad y el tercero indica la cantidad de ceros que se deben agregar a la derecha. Para conocer la capacidad en microfaradios basta con dividir ese resultado entre un millón.

Para obtener una mayor claridad acerca del manejo del código JIS, analicemos los ejemplos mostrados en la **figura 7.16**.

Al igual como sucede con las resistencias, comercialmente no se consiguen condensadores de todas las capacidades sino que se han normalizado unos valores estándar. Existen varias series de valores normalizados, entre ellas la más común es la serie E-12 que contiene doce valo-

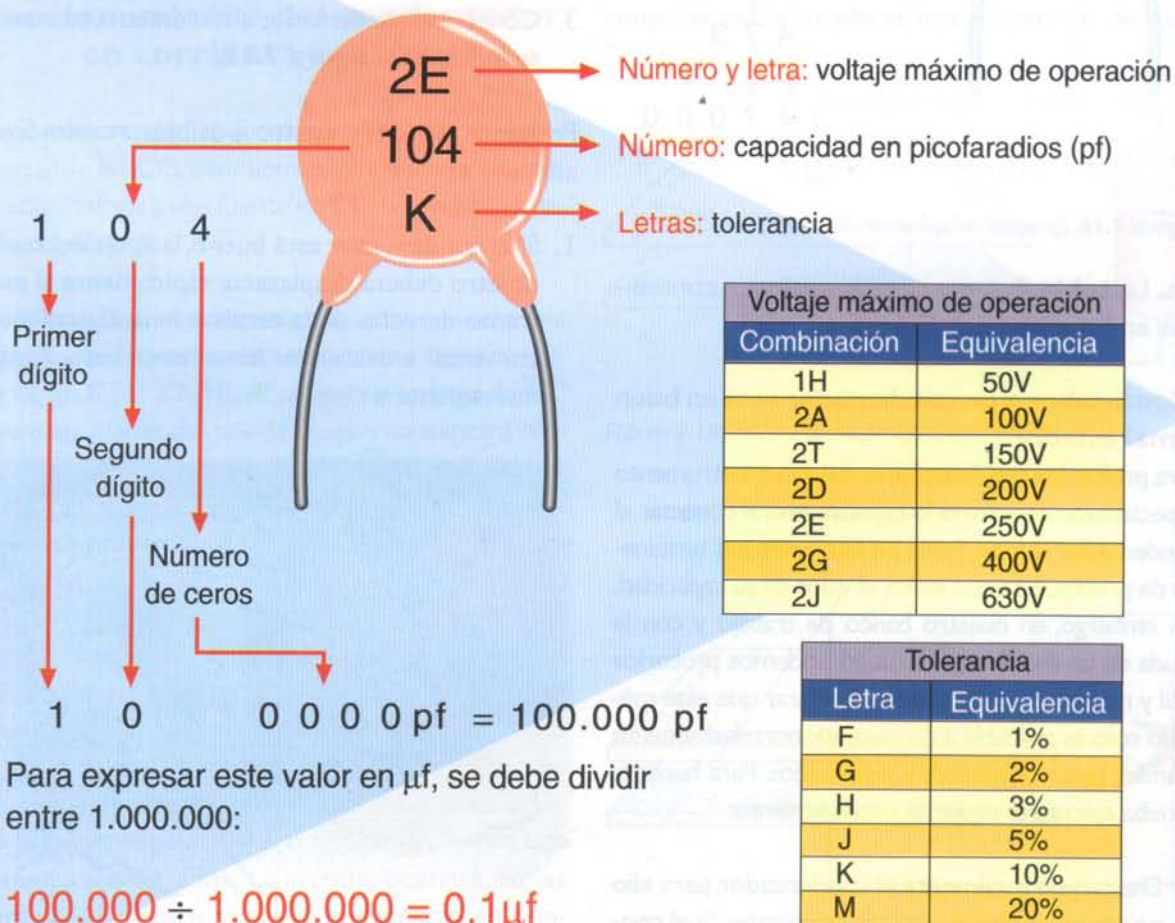


Figura 7.15. Código de colores para la identificación de condensadores

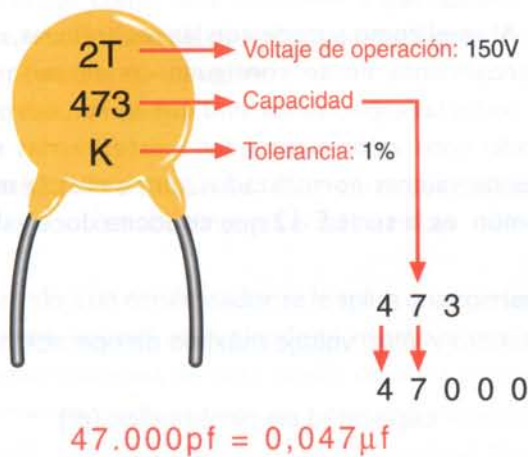
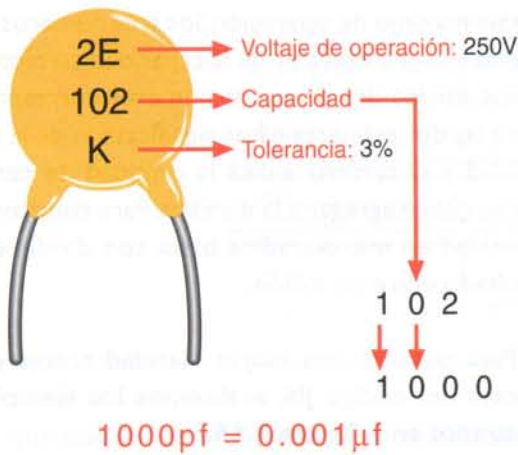


Figura 7.16. Ejemplos de aplicación del código JIS

res. La **tabla 7.1** muestra los valores contenidos en las series E-3, E-6 y E-12.

¿Cómo saber si un condensador está en buen o mal estado?

Para probar los condensadores existe un instrumento especializado denominado capacitómetro; al conectar el condensador que se desea probar entre sus terminales de prueba, éste nos indica el valor de su capacidad. Sin embargo, en nuestro banco de trabajo y con la ayuda de un multímetro análogo podemos probarlos fácil y rápidamente. Es necesario aclarar que este método solo es aplicable a condensadores relativamente grandes (gran capacidad) y polarizados. Para hacer la prueba ejecute el siguiente procedimiento:

1. Descargue totalmente el condensador, para ello ponga en cortocircuito sus terminales. Si el condensador está cargado verá una pequeña chispa.

Serie E-3	Serie E-6	Serie E-12
1	1	1
		1,2
	1,5	1,5
		1,8
2,2	2,2	2,2
		2,7
	3,3	3,3
4,7		3,9
	4,7	4,7
		5,6
	6,8	6,8
		8,2

Figura 7.1. Valores normalizados para los condensadores

2. Seleccione en el multímetro la función para medir resistencias en un rango relativamente pequeño.
3. Conecte el condensador al multímetro, tal como se indica en la **figura 7.17**.

Podemos obtener cuatro posibles resultados, así:

1. Si el condensador está bueno, la aguja del multímetro deberá desplazarse rápidamente al extremo derecho de la escala e inmediatamente comenzar a descender lentamente hasta llegar nuevamente a cero.

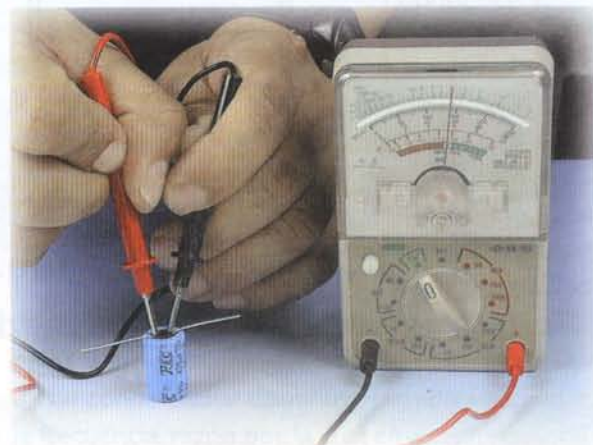


Figura 7.17. Prueba de condensadores con el multímetro

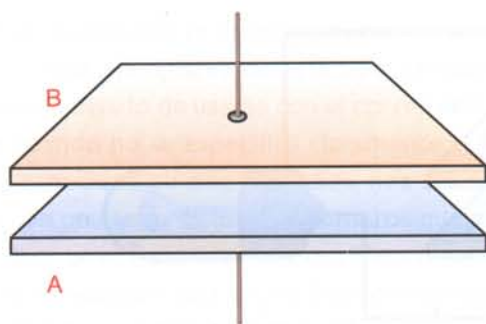


Figura 7.18. Condensador sin carga

2. Si el condensador tiene fugas, la aguja se desplazará al extremo derecho de la escala y cuando está retornando a cero se detendrá en un punto cualquiera.
3. Si el condensador está abierto la aguja permanecerá inmóvil.
4. Si el condensador está en cortocircuito, la aguja se desplazará al lado derecho (0Ω) y no retornará más (se quedará en ese punto).

Funcionamiento del condensador en corriente continua

Para comprender el funcionamiento de un condensador en CC, estudiemos qué sucede cuando lo conectamos a una fuente de CC, como por ejemplo, una batería.

Mientras el condensador no está conectado a ninguna fuente es neutro, es decir, no tiene ninguna carga, **figura 7.18**. Al aplicar un voltaje de CC entre las placas del condensador, no existirá ningún paso de corriente a través del mismo, debido a la presencia del dieléctrico (aislante); sin embargo, se produce una acumulación de cargas eléctricas entre las placas debido a que el terminal negativo de la batería repele los electrones libres del conductor hacia la placa A, mientras que el terminal positivo de la batería atrae los electrones libres de la placa B; de modo tal que en la placa conectada al terminal negativo de la fuente de CC habrá una acumulación de electrones y en la capa conectada al positivo se producirá una disminución de ellos. Lo mismo ocurrirá en las caras del dieléctrico que se encuentran en contacto con las placas. **Figura 7.19**.

El proceso de carga continúa hasta que el voltaje en el condensador iguala el voltaje de la batería, pues, el voltaje aplicado ya no es capaz de hacer que los electrones libres circulen por los conductores. Durante este proceso la corriente está circulando por todo el circuito, pero no por mucho tiempo, debido a que el proceso de carga es muy rápido.

Si se suspende el suministro de CC, la carga acumulada se mantiene debido a la fuerza de atracción eléctrica entre las placas cargadas. Para neutralizar la carga que existe en un condensador, es decir, para descargarlo, sólo es necesario que exista una trayectoria de conducción entre las placas; por ejemplo: si se ponen en cortocircuito los terminales del condensador se produce una corriente alta pero muy corta entre ellos, que genera una chispa y descarga el condensador. **Figura 7.20**. De la misma forma, podemos conectar entre las placas una resistencia de car-

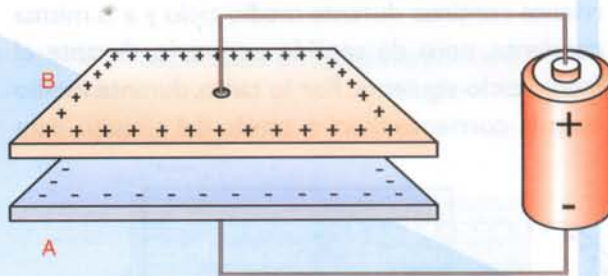


Figura 7.19. Proceso de carga de un condensador

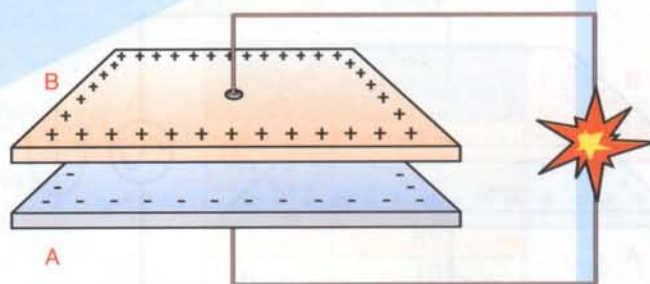


Figura 7.20. Descarga de un condensador poniendo en cortocircuito sus terminales

Lección 8

Las bobinas

Las bobinas, con las resistencias y los condensadores, forman el principal grupo de componentes pasivos en la electrónica. Por su forma y construcción pueden almacenar temporalmente energía eléctrica en forma de corriente y oponerse a los cambios de la misma, fenómeno que recibe el nombre de **inductancia**.

Están conformadas por varias vueltas de alambre aislado o esmaltado enrolladas alrededor de un núcleo. Algunos tipos de bobinas las podemos construir de acuerdo a nuestras necesidades, debido a que se fabrican con materiales fáciles de conseguir.



Las bobinas o **inductores** (*coils*), son componentes pasivos conformados por varias vueltas de alambre enrolladas sobre un núcleo, el cual puede ser de materiales y formas distintas. El uso de las bobinas es menos frecuente que el de los condensadores y se utilizan principalmente en circuitos de alta frecuencia o RF. Cuando un conductor toma la forma de bobina, el campo magnético se concentra y se hace más fuerte ya que se unen los campos magnéticos de cada vuelta o espira.

Según su construcción y tipo de aplicación, algunas bobinas reciben el nombre de solenoides. Otras también se llaman “choques” debido a su utilización para eliminar el residuo de corriente alterna (rizado o *ripple*) en el proceso de rectificación de las fuentes de poder, o para eliminar el componente de radiofrecuencia (RF) de las líneas de alimentación de CC en algunos aparatos, especialmente de comunicaciones.

Las bobinas tienen la habilidad de oponerse a los cambios de la corriente, lo cual, se denomina **inductancia**, esto lo explicaremos más adelante. Como esta propiedad solo se presenta con corrientes alternas, no tiene efecto alguno cuando circula por ellas una corriente continua. También podemos decir que la inductancia es la propiedad

que tiene un circuito para almacenar energía eléctrica en forma de un campo magnético, o que la inductancia de una bobina tiende a “suavizar” o atenuar los cambios bruscos en la amplitud o valor de la corriente.

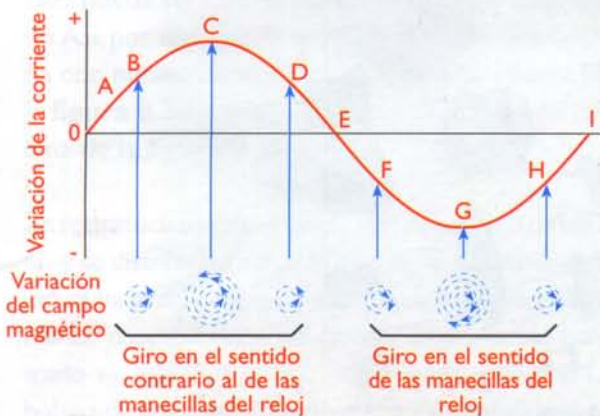
Como ya lo vimos en otra sección de este curso, las bobinas se pueden conectar en serie o en paralelo dando como resultado un nuevo valor de inductancia, mayor o menor, según cada caso. Las bobinas se utilizan generalmente asociadas con condensadores y resistencias formando circuitos llamados RL o RLC, ya sean en serie o en paralelo.

Teoría de funcionamiento (inductancia)

Aunque no es tan fácil, como en el caso de las resistencias y los condensadores, es muy importante conocer el principio básico de funcionamiento de las bobinas. Cuando se les aplica corriente alterna, se genera alrededor de ellas un campo magnético que varía proporcionalmente a medida que aumenta y disminuye la magnitud de esta corriente, tal como se observa en la **figura 8.1**. El flujo magnético creado por una bobina depende de las características de construcción de la misma, de la intensidad de la corriente que circula por ella, y del material en que esté elaborado el núcleo, entre otros.

Como lo vimos cuando hablamos de las propiedades del magnetismo, este campo magnético tiene la habilidad de inducir un voltaje en los extremos de la bobina, el cual a su vez, producirá una corriente que se sumará o se restará con la primera, oponiéndose a los cambios de dirección de la misma. Para explicar este fenómeno, utilizaremos la **figura 8.2**. Observe cuidadosamente las direcciones de la corriente.

En la **figura 8.2a**, el flujo de la corriente aumenta generando un voltaje inducido que se opone al aumento de la corriente; como este voltaje tiene polaridad contraria al de la fuente, genera una corriente en la dirección opuesta, restándose con la primera, lo cual evita que la corriente aumente.



Recuerde que la señal dibujada por debajo del eje x no indica que la corriente es menor que la de la parte superior, sino que la corriente está aumentando en la dirección contraria.

Figura 8.1. Campo magnético generado por una corriente alterna

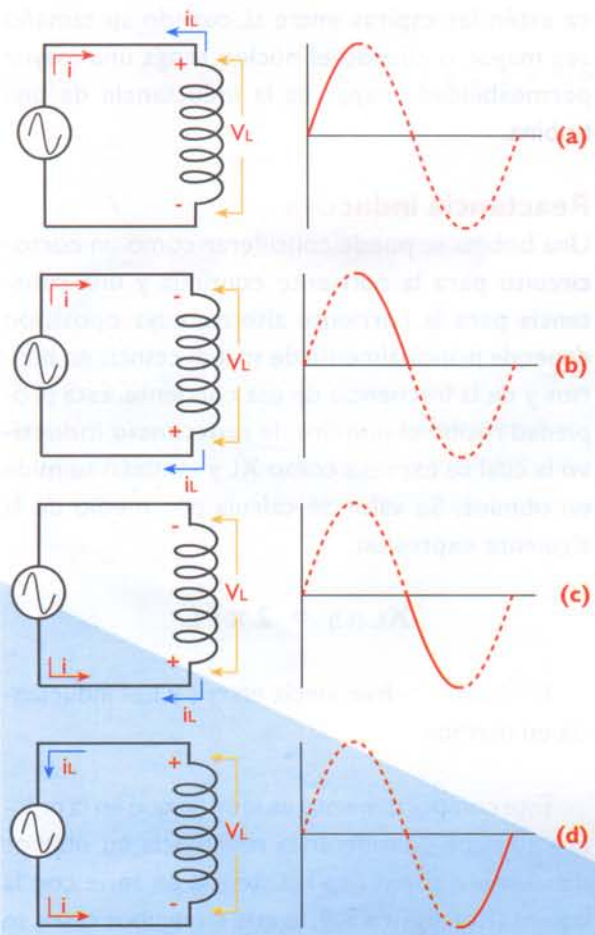


Figura 8.2. Variación del campo magnético

En la **figura 8.2b**, aunque la corriente está circulando en la misma dirección, la magnitud de ésta disminuye. El voltaje inducido en la bobina produce una corriente en la misma dirección que la producida por la fuente, sumándose a la primera e impidiendo que disminuya.

En la **figura 8.2c**, la fuente cambia de polaridad, por lo que la corriente empieza a aumentar en la dirección opuesta. El voltaje inducido en la bobina genera una corriente que va en la dirección contraria a la de la fuente, oponiéndose al aumento de la primera corriente.

En la **figura 8.2d**, observamos cómo la corriente producida por la fuente comienza a disminuir; como consecuencia de esto, el voltaje inducido cambia de polaridad y produce una corriente que circula en la misma dirección que la producida por

la fuente de alimentación, sumándose y contrarrestando así la disminución de la corriente en el circuito. Debido a esto, el voltaje inducido recibe comúnmente el nombre de **fuerza contraelectromotriz** o fuerza electromotriz contraria. A esto es lo que se llama **inductancia**.

La inductancia se representa con la letra **L** y su unidad de medida en el Sistema Internacional (SI) es el henrio (H) (*henry* ó *Hy*), denominado así en honor al físico norteamericano Joseph Henry (1797 - 1878) quien fue el inventor del interruptor electromagnético o relé, entre otros. Un henrio corresponde a la capacidad de inducir 1V cuando la corriente cambia con una velocidad de 1A por segundo.

Ésta es una unidad de medida muy grande por lo que en la práctica se utilizan submúltiplos de ella, como el milihenrio (mH) y el microhenrio (μH) que equivalen a la milésima (1×10^{-3}) y a la millonésima (1×10^{-6}) parte de un henrio, respectivamente. Las primeras bobinas o choques utilizados en los aparatos antiguos de radio, sonido, o televisión tenían una inductancia de varios henrios; actualmente los valores típicos para las bobinas más utilizadas en la electrónica se encuentran en milihenrios (mH) y microhenrios (μH). Las bobinas también deben especificar cuál es su corriente máxima de trabajo en amperios, lo que está determinado por el calibre o diámetro del alambre con el cual están fabricadas.

De acuerdo a las características de construcción de las bobinas, la inductancia depende de:

El número de vueltas de la bobina: la inductancia aumenta en forma directamente proporcional con el cuadrado del número de espiras (N^2 , siendo N el número de espiras). Así, por ejemplo, si se duplica el número de vueltas, conservando el diámetro de éstas y su longitud, la inductancia se aumenta cuatro veces. Por ejemplo, la bobina de la **figura 8.3b** tiene una inductancia mayor que la de la **figura 8.3a**.

El área (diámetro) de cada vuelta: cuando se aumenta el área de cada vuelta, también se incrementa la inductancia. Es decir, una bobina donde

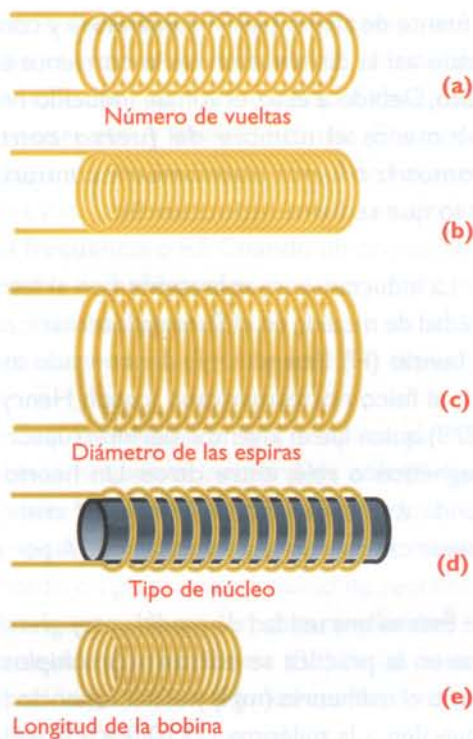


Figura 8.3. Factores que determinan la inductancia en una bobina

las vueltas son más grandes tiene una inductancia mayor. La bobina de la **figura 8.3c**, tiene más inductancia que la de la **figura 8.3a**, aun cuando ambas tienen el mismo número de espiras.

La permeabilidad del núcleo: la inductancia de una bobina depende de la facilidad con que el núcleo pueda ser atravesado por un campo magnético. Así, por ejemplo, la permeabilidad de una bobina con núcleo de aire es igual a uno. La bobina de la **figura 8.3d**, tiene mayor inductancia que la bobina de la **figura 8.3a**.

La longitud: si se mantiene el mismo número de vueltas y se distribuyen en un núcleo de longitud mayor, la inductancia disminuye debido a que se produce una menor concentración del campo magnético; lo contrario sucede si el núcleo es de longitud menor. La bobina de la **figura 8.3e** tiene una inductancia mayor que la de la **figura 8.3a**, ya que la última se encuentra enrollada sobre un núcleo de menor longitud.

En resumen, cuando más grande sea el número de espiras de una bobina, cuando más cer-

ca estén las espiras entre sí, cuando su tamaño sea mayor, o cuando el núcleo tenga una mayor permeabilidad, mayor es la inductancia de una bobina.

Reactancia inductiva

Una bobina se puede considerar como un cortocircuito para la corriente continua y una resistencia para la corriente alterna, cuya oposición depende principalmente de su inductancia en henrios y de la frecuencia de esa corriente. Esta propiedad recibe el nombre de **reactancia inductiva** la cual se expresa como X_L y también se mide en ohmios. Su valor se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$X_L (\Omega) = 2 \pi f L$$

En donde f = frecuencia en cps y L = inductancia en henrios

Este comportamiento es ideal ya que en la práctica se debe considerar la resistencia en ohmios del alambre como una resistencia en serie con la bobina (R_L), **figura 8.4**, lo que en algunos casos se debe tener en cuenta.

Clasificación

Las bobinas, al igual que las resistencias y los condensadores, pueden clasificarse principalmente en dos categorías: fijas y variables, dependiendo de si su inductancia es fija o puede modificarse por algún medio, ya sea por desplazamiento del núcleo o por selección de espiras mediante puntos de conexión (*taps*).

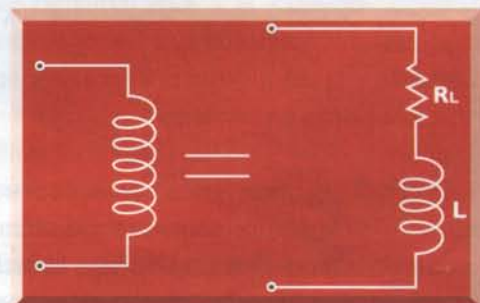


Figura 8.4. Circuito equivalente o real de una bobina

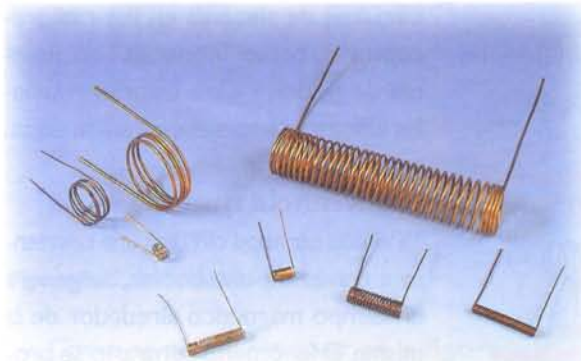


Figura 8.5. Bobinas con núcleo de aire

Tanto las bobinas fijas como las variables pueden subdividirse a su vez en otras categorías, dependiendo de varios factores, como el material del núcleo, su forma y el tipo de montaje así:

Material del núcleo. Éste depende de la aplicación específica que se da a cada una de ellas. Los principales tipos usados en electrónica son los de aire, los de hierro ya sea laminado o pulverizado y los de ferrita.

1. Las bobinas con núcleo de aire: son llamadas así aquellas que no tienen ningún núcleo en su interior. Tienen baja inductancia y se utilizan en circuitos donde se manejan señales de alta frecuencia, como radios, televisores, equipos de comunicaciones, etc. **Figura 8.5**

2. Las bobinas con núcleo de hierro: son usadas cuando se requiere de un valor alto de inductancia, ya que con éstas se obtiene un mayor efecto magnético que con las de núcleo de aire. Los núcleos de hierro están formados por láminas delgadas en forma de E y de I, con el fin de evitar pérdidas de energía en el proceso de inducción.

3. Las bobinas con núcleo de ferrita: son ampliamente utilizadas actualmente en electrónica, ya que poseen una alta inductancia y tamaño reducido, son usadas en circuitos donde se requiere manejar altas frecuencias. En la **figura 8.6**, se observan algunos ejemplos de bobinas con estos núcleos de ferrita.

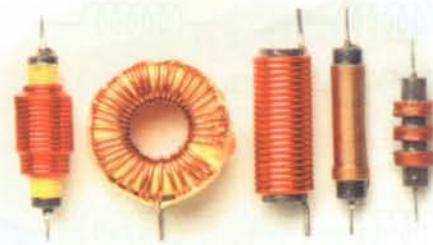


Figura 8.6. Bobinas con núcleo de ferrita



Figura 8.7. Bobinas rectas y toroidales

Forma del núcleo. De acuerdo a la forma del núcleo, las bobinas pueden ser rectas (lineales) o toroidales. Estas últimas son de amplia utilización actualmente. **Figura 8.7**

Tipo de montaje. De acuerdo a la forma en que se instalan en los circuitos electrónicos, pueden ser: de montaje por inserción o de montaje superficial. **Figura 8.8**

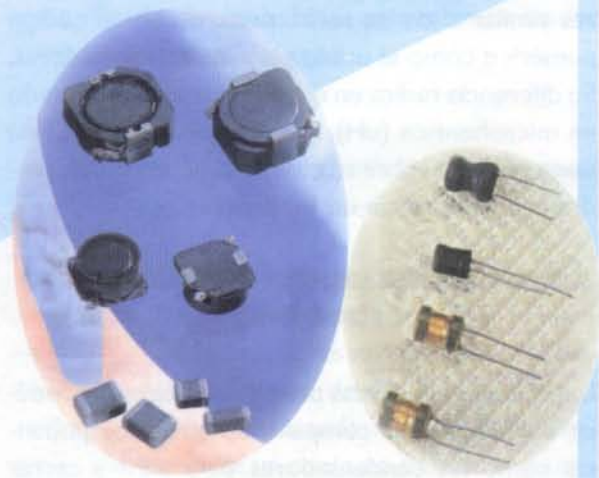


Figura 8.8. Bobinas para montaje superficial y montaje por inserción

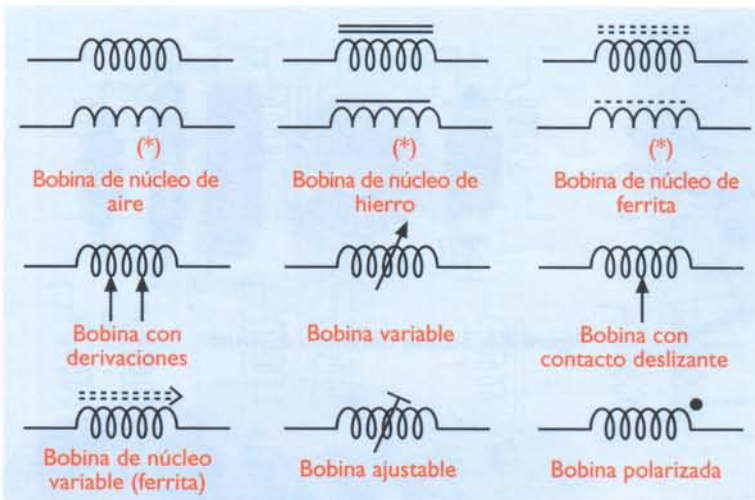


Figura 8.9. Símbolos de las bobinas

Símbolos

Las bobinas se representan de acuerdo a sus características de construcción y a su clasificación. Su símbolo no solo especifica si la bobina es fija o variable, sino que también especifica el material del núcleo. **Figura 8.9**

Formas de identificación

Generalmente las bobinas no tienen ningún tipo de información sobre su valor. Si deseamos conocerlo, es necesario ayudarnos de un instrumento especializado para tal fin denominado inductómetro, o por medio de un medidor RLC, **figura 8.10**. Sin embargo, comercialmente se consiguen bobinas prefabricadas, **figura 8.11**, las cuales están encapsuladas y se identifican con un código de colores similar al de las resistencias, o con un código numérico como el usado para los condensadores. Su diferencia radica en que el valor está expresado en microhenrios (uH). Por ejemplo: si una bobina tiene grabado sobre su cuerpo el número 102, tendrá una inductancia de 1.000 uH.

Principales aplicaciones de las bobinas

Las bobinas son usadas principalmente para producir oscilaciones en compañía de otros componentes como los condensadores, para abrir y cerrar cargas por medios magnéticos, como parte de los

circuitos de sintonía en los radioreceptores, como “choques” en fuentes de poder, y para transferir señales eléctricas entre etapas, entre otras.

Inductancia mutua

Ya vimos como, al circular una corriente a través de una bobina, se genera un campo magnético alrededor de la misma. El fenómeno contrario se produce si introducimos una bobina en un campo magnético variable, éste hará circular una corriente que inducirá un voltaje en los extremos de la bobina. Estos dos fenómenos pueden

combinarse si sometemos una bobina al campo magnético producido por otra. Así, el mismo campo magnético estará induciendo un voltaje en ambas bobinas.



Figura 8.10. Medidor digital de bobinas



Figura 8.11. Bobinas prefabricadas

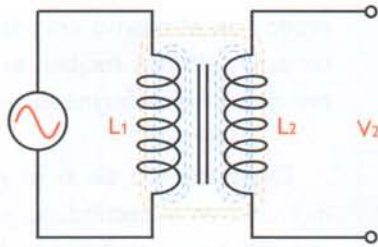


Figura 8.12. La inductancia mutua

Como se puede observar en la figura 8.12, la bobina $L1$ está conectada a una fuente de CA. La bobina $L2$ no está conectada a ninguna fuente ni a $L1$, sin embargo, sus espiras están unidas a través de un campo magnético. Por lo tanto, cualquier variación en la corriente que circula por $L1$, inducirá un voltaje en $L2$. Si todo el flujo magnético producido por $L1$ abarca todas las espiras de $L2$, cada espira de ésta tendrá un voltaje inducido de la misma magnitud que $L1$. Recuerde que la corriente está variando, por ello el voltaje inducido también lo hace; así, el voltaje inducido será también de CA. La aplicación más importante de éste fenómeno es el transformador, el cual estudiaremos a continuación.

Los transformadores

Son componentes conformados por dos o más bobinas enrolladas alrededor de un núcleo. La primera bobina se enrolla sobre el núcleo, la segunda sobre la primera, y así sucesivamente. La bobina que se conecta a la entrada se llama primario y la bobina que proporciona la señal de salida se llama secundario. Los transformadores son la principal aplicación derivada del fenómeno de inductancia mutua, visto anteriormente.

Funcionamiento básico de un transformador

El funcionamiento de un transformador se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética. Cuando se hace circular una corriente alterna por el primario, se produce un campo magnético variable alrededor de la bobina del primario cuya amplitud y frecuencia dependen de la amplitud y frecuencia de la corriente aplicada.

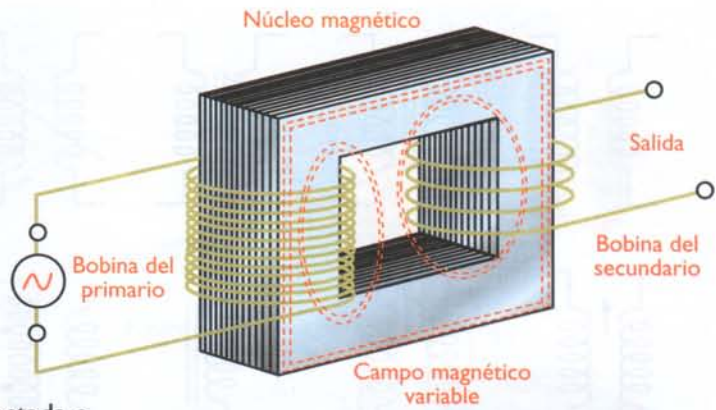


Figura 8.13. Funcionamiento básico del transformador

Este campo magnético encuentra en el núcleo un camino para transportarse y como la bobina o bobinas del secundario se encuentran enrolladas sobre el mismo núcleo, se induce en ellas un voltaje variable o alterno que depende del número de vueltas de la o las bobinas del secundario. **Figura 8.13.** Vale la pena anotar que los transformadores solo funcionan cuando se les aplica corriente alterna en la entrada.

Los transformadores se utilizan principalmente en los sistemas electrónicos, para aumentar o disminuir el nivel de voltaje y de corriente, o para transferir señales entre diferentes circuitos.

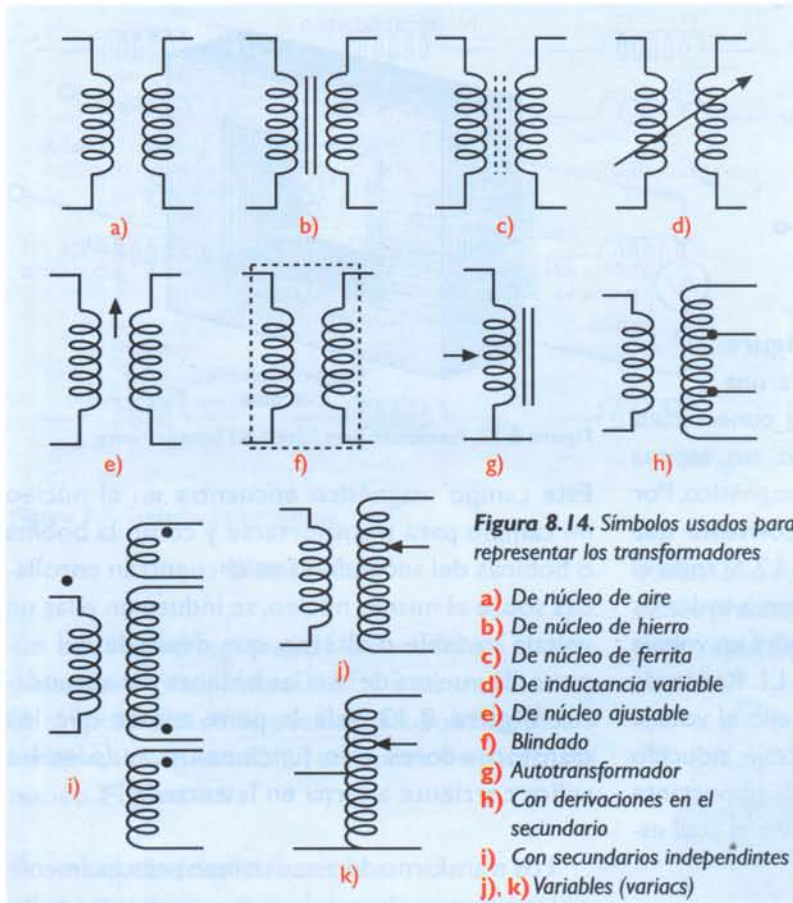
Símbolos

Los símbolos usados para representar los transformadores se muestran en la figura 8.14. El símbolo indica el material del núcleo, la forma como están distribuidas las bobinas en el transformador y si éstos son variables o no.

Clasificación

Los transformadores se clasifican de diferentes formas así:

Dependiendo de si su inductancia mutua es fija o variable, pueden clasificarse como fijos o variables. En los transformadores variables, la inductancia mutua puede variarse de dos formas: desplazando el núcleo o cambiando el número de espiras, ya sea mediante un contacto deslizante o utilizando derivaciones (*taps*).



Dependiendo de sus aplicaciones y frecuencia de trabajo, los transformadores pueden clasificarse en cinco grupos principales:

1. Transformadores de potencia o de entrada. Son los más comunes y están diseñados para recibir el voltaje de la red eléctrica y adaptarlo a las necesidades del circuito al cual están conectados. Estos transformadores toman dicho voltaje y lo elevan o lo reducen, según los requerimientos del circuito. **Figura 8.15**. Si un circuito necesita tener varios voltajes, el transformador puede tener varios secundarios ya sean separados o inte-

grados en el mismo enrollamiento; estos últimos reciben el nombre de autotransformadores.

Dependiendo de si el voltaje inducido en el secundario es mayor, menor, o igual que el voltaje aplicado al primario, los transformadores de potencia se clasifican como elevadores, reductores, o de aislamiento; esto es determinado por el número de espiras o vueltas de alambre que haya en cada uno. Si en el secundario hay más espiras que en el primario, el voltaje se eleva; en el caso contrario el voltaje se reduce; si el número de espiras es el mismo en el devanado primario y en el secundario, el transformador es de aislamiento.

• **Transformadores reductores:** son los más comunes y se utilizan cuando se requieren voltajes bajos para operar en los circuitos electrónicos, son muy usados en las fuentes de alimentación, incluyendo los denominados adaptadores. **Figura 8.16**

• **Transformadores elevadores:** su principal aplicación está en los *flybacks*, usados para obtener los voltajes requeridos para excitar las pantallas de los televisores y los monitores de vídeo. **Figura 8.17**

• **Transformadores de aislamiento:** se usan para evitar la conexión directa de ciertos equipos a las líneas de energía de la red pública. **Figura 8.18**

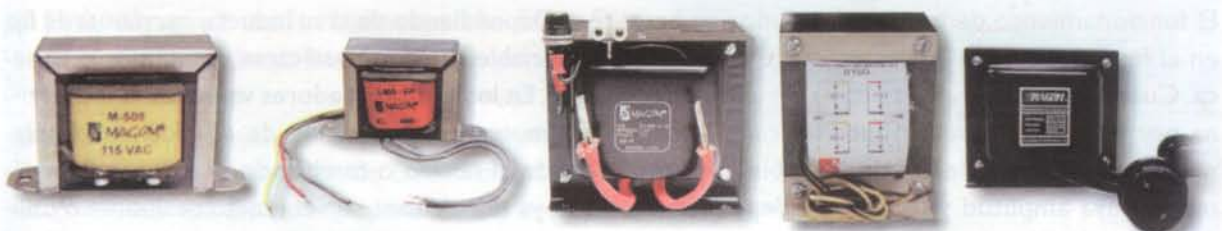


Figura 8.15. Transformadores de potencia

2. Transformadores de corriente. Se utilizan para convertir una corriente alta en una corriente pequeña, con el fin de poder medirla fácilmente en tableros eléctricos o electrónicos, o para diseñar circuitos de protección de sobrecorriente. Su núcleo es de aire y su forma generalmente es circular, con un orificio cen-

tral por el cual se pasa un conductor, **figura 8.19**. Al circular una corriente por este conductor se induce un voltaje en la bobina del transformador, el cual es proporcional a esa corriente y así se puede hacer la medida o activar un circuito de protección.

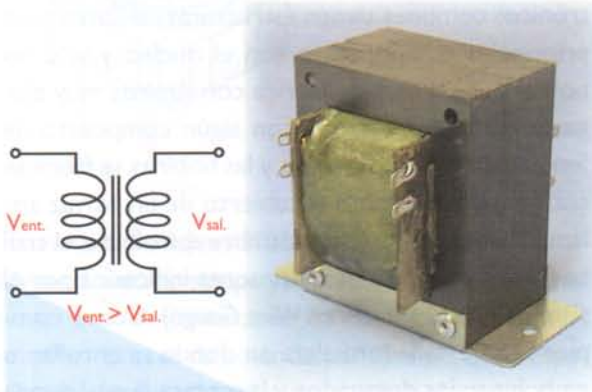


Figura 8.16. Transformador reductor



Figura 8.17. Transformadores elevadores de voltaje



Figura 8.18. Transformador de aislamiento

3. Transformadores de radiofrecuencia. Se fabrican para trabajar en altas frecuencias (mayores de 100KHz), se usan en las etapas de sintonía o de antena y de frecuencia intermedia (FI) en los receptores, o en la etapa final de los transmisores de radio. Generalmente tienen una carcasa o blindaje metálico. Sus núcleos están compuestos de aire o de compuestos especiales con hierro pulverizado.

Figura 8.20

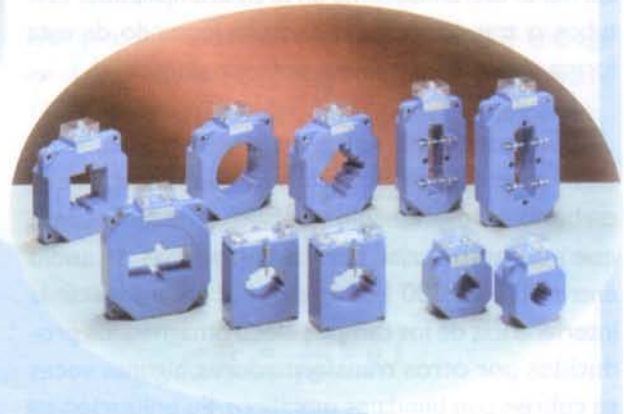


Figura 8.19. Transformadores de corriente



Figura 8.20. Transformadores de radio frecuencia

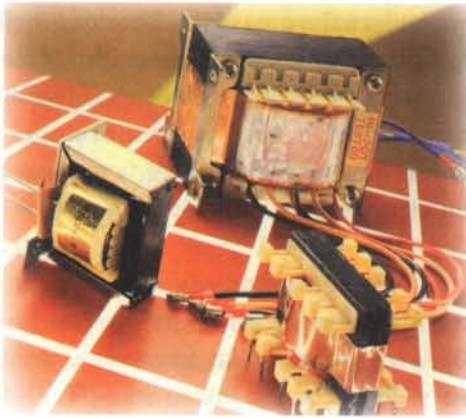


Figura 8.21. Transformadores de audiofrecuencia

4. Transformadores de audiofrecuencia. Su función es enlazar dos circuitos en un aparato de audio o de sonido, que tengan características de voltaje y de corriente diferentes, como un circuito amplificador con tubos o transistores y el parlante, logrando de esta forma transmitir la máxima potencia de la señal.

Su núcleo está compuesto generalmente de aleaciones especiales de hierro con níquel, silicio, carbono, cromo, vanadio y cobalto, o de ferrita, para que puedan trabajar con las frecuencias de audio entre 20 y 20.000 Hz, figura 8.21. Para evitar la interferencia de los campos electromagnéticos producidos por otros transformadores, algunas veces se cubren con blindajes metálicos. Su utilización se ha ido eliminando debido a los nuevos diseños de los circuitos de audio, dotados con transistores y circuitos integrados.

5. Transformadores de pulsos. Se utilizan para

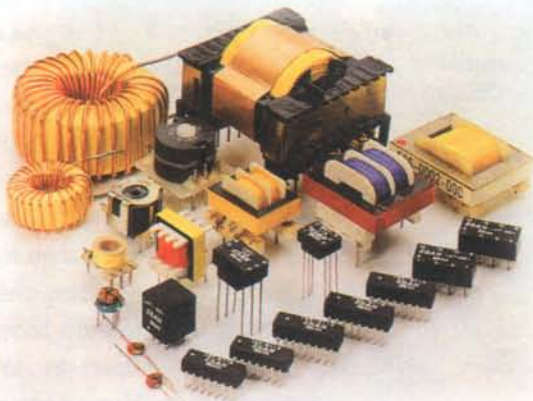


Figura 8.22. Transformadores de pulsos

transferir pulsos, es decir, señales de corriente o de voltaje que cambian muy rápidamente. Algunos tiristores y las lámparas estroboscópicas operan con este tipo de señales. Figura 8.22

Estructura básica de los transformadores

Los transformadores de potencia y de audiofrecuencia, que son los más utilizados en los aparatos electrónicos comunes, tienen estructuras similares y sus principales componentes son el núcleo y la ó las bobinas. El primero se fabrica con láminas muy delgadas de hierro-silicio o con algún compuesto de ferrita o hierro pulverizado, y las bobinas se fabrican con alambre de cobre recubierto de un barniz aislante y por esto se llama alambre esmaltado, el cual se fabrica en diferentes espesores indicados por el sistema AWG (*American Wire Gauge*). Como complemento está la formaleta en donde se enrollan o embobinan los devanados, y la carcasa, la cual puede tener varias formas según el modelo y tiene como función compactar el núcleo. Figura 8.23

Los transformadores de radiofrecuencia vienen en diferentes modelos según su aplicación; en la figura 8.24 se muestra la estructura básica de algunos de ellos. El tamaño del núcleo en los transformadores depende de la frecuencia de trabajo. Es por esto que los transformadores de potencia, que trabajan a 50 o 60 Hz tienen los núcleos más grandes, y los transformadores de RF, que trabajan a varios cientos de KHz o de MHz, tienen el núcleo más pequeño.

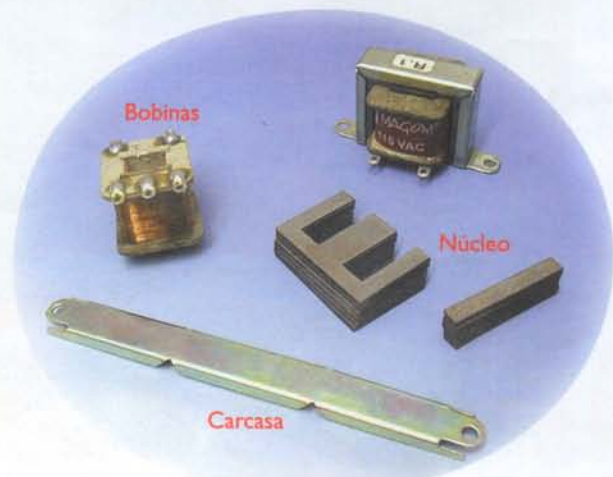


Figura 8.23. Partes de un transformador

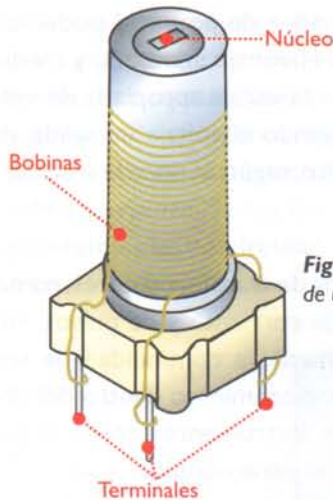


Figura 8.24. Estructura básica de un transformador de RF

Formas de identificación

Dependiendo de su tipo y aplicaciones, los transformadores pueden identificarse de diferentes formas. Los transformadores de potencia, por ejemplo, traen especificado el voltaje del primario, el voltaje del secundario y la potencia o la corriente del secundario. Ejemplo:

Voltaje primario: 110V
Voltaje secundario: 12V
Potencia: 12W

Los transformadores de audio o de salida se identifican por sus impedancias en el primario y el secundario, y por la potencia de transformación. Ejemplo:

Impedancia del primario: 1000 Ω
Impedancia del secundario: 8 Ω
Potencia: 50W

Relación de transformación

Uno de los factores más importantes que se debe conocer en cualquier transformador es la relación de transformación, o sea la relación entre el voltaje primario y el voltaje secundario, la cual depende del número de vueltas de cada bobina o devanado. Ésta puede calcularse de las siguientes formas:

Proporción de vueltas en los transformadores

$$Tr = \frac{\text{Número de vueltas del secundario}}{\text{Número de vueltas del primario}} = \frac{N_s}{N_p}$$

Ejemplo: si un transformador tiene 440 vueltas en el primario y 880 vueltas de alambre en el secundario, la relación de transformación será:

$$Tr = \frac{N_s}{N_p}$$

$$Tr = \frac{880}{440}$$

$$Tr = 2$$

Esto quiere decir que, si en el primario hay 110V, en el secundario tendremos 220V, o sea un transformador elevador.

$$V_{out} = V_{in} \times Tr$$

$$V_{out} = 110V \times 2$$

$$V_{out} = 220V$$

Proporción de voltajes en los transformadores

$$Tr = \frac{\text{Voltaje del secundario}}{\text{Voltaje del primario}} = \frac{V_s}{V_p}$$

Ejemplo: si se tiene un transformador que entrega en el secundario 12V y el primario está conectado a 120V, se tiene una relación de transformación de:

$$Tr = \frac{V_s}{V_p}$$

$$Tr = \frac{12V}{120V}$$

$$Tr = \frac{1}{10} = 0,1$$

Relación de potencia

Idealmente, en los transformadores la potencia de entrada es igual a la potencia de salida:

Potencia del primario = Potencia del secundario

$$P_p = P_s$$

$$V_p \times I_p = V_s \times I_s$$

Por lo tanto, si un transformador es elevador, la corriente presente en el bobinado primario sería mayor que la del secundario. Por el contrario, si el transformador es reductor, la corriente que maneja en el bobinado primario es menor que la manejada por el bobinado secundario. En los transformadores que entregan en su bobinado secundario el mismo voltaje que en el primario, tendrán también la misma corriente en ambos bobinados. Si despejamos los voltajes para encontrar la relación de transformación, tendremos:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{V_s}{V_p}$$

Leyes básicas de los transformadores

De lo estudiado anteriormente, se derivan las tres leyes principales de los transformadores:

Primera: los voltajes son directamente proporcionales al número de espiras.

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Segunda: los voltajes son inversamente proporcionales a las intensidades de las corrientes.

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{I_s}{I_p}$$

Tercera: las intensidades de las corrientes son inversamente proporcionales al número de espiras.

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

Pérdidas en los transformadores

Los transformadores no son componentes ideales ni perfectos, es decir, en el proceso de transformación hay pérdidas de potencia debidas a diferentes factores tales como la dispersión del flujo magnético en el núcleo, y otros, como corrientes parásitas que hacen que la potencia entregada en el secundario sea ligeramente menor que la recibida en el primario. Para compensar estas pérdidas se debe agregar un poco de voltaje o de corriente en el secundario. Esto lo brinda el fabricante de acuerdo al diseño y al tipo de materiales utilizados, por lo que no profundizaremos en este tema en el curso actual.

Pruebas básicas de los transformadores

Para determinar si un transformador está bueno o malo, la primera prueba es determinar la continuidad de sus bobinas, para lo cual podemos utilizar un multímetro en la función de óhmetro. Dependiendo del tipo de transformador y de su estructura, medimos cada una de sus bobinas; si una bobina tiene pocas vueltas debe medir pocos ohmios y viceversa. También, el calibre o diámetro del alambre establece el valor en ohmios. **Figura 8.25**



Figura 8.25. Prueba de la continuidad de un transformador con el multímetro

Si es un transformador de potencia, podemos aplicar en el primario el voltaje adecuado y medir con un multímetro en la escala apropiada de voltios AC si está entregando el voltaje de salida, ya sea más bajo o más alto, según el tipo de transformador. **Figura 8.26**

Para los otros tipos de transformadores, como los de audio, de RF, de corriente y de pulsos, inicialmente se puede medir la continuidad de sus bobinas, y luego, su funcionamiento dentro del circuito, utilizando otros instrumentos como el generador de señales y el osciloscopio.

Como en todos los transformadores, con excepción de los autotransformadores, las bobinas del primario y del secundario deben estar aisladas físicamente, la resistencia entre ellas debe ser infinita; de lo contrario, si marca unos pocos ohmios, indicará que se encuentran en cortocircuito, algo que ocurre con cierta frecuencia. Esto también se debe verificar entre las bobinas y el núcleo. A esta prueba se le llama **prueba de aislamiento**.

Estos componentes se podrán entender mejor a medida que veamos sus aplicaciones prácticas en los diferentes circuitos, como las fuentes de poder, los amplificadores, los radioreceptores, etc.



Figura 8.26. Prueba del voltaje de CA en el secundario de un transformador

nes en la capa de valencia. Así se produce un patrón tridimensional llamado **red cristalina** o **crystal**. **Figura 9.2.**

Un cristal semiconductor puro, como el descrito anteriormente, se comporta como aislante a temperaturas cercanas al cero absoluto. Sin embargo, a medida que aumenta la temperatura la agitación térmica hace que algunos electrones de valencia rompan los enlaces que los mantienen unidos al cristal y se conviertan en electrones libres, permitiendo la circulación de corrientes eléctricas.

Cuando sale un electrón de la banda de valencia deja siempre en ella un espacio vacío llamado **huevo**, el cual es llenado por otro electrón libre o por un electrón de valencia perteneciente a un átomo vecino. Por lo tanto, dentro de un semiconductor, por el que circula una corriente eléctrica, hay permanentemente un movimiento de electrones y huecos en direcciones opuestas.

Los semiconductores intrínsecos y extrínsecos

Los cristales semiconductores puros son raramente empleados en electrónica debido a que, en su estado natural, poseen muy pocos electrones libres y necesitan de muy altas cantidades de energía para

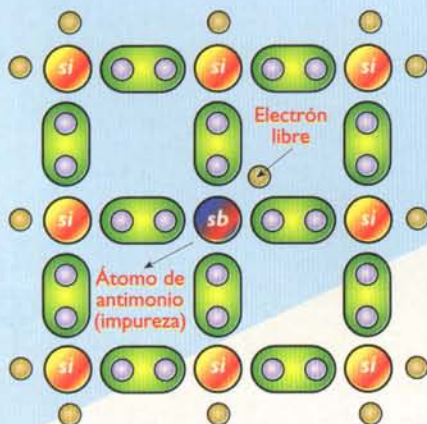


Figura 9.3. Semiconductor tipo N

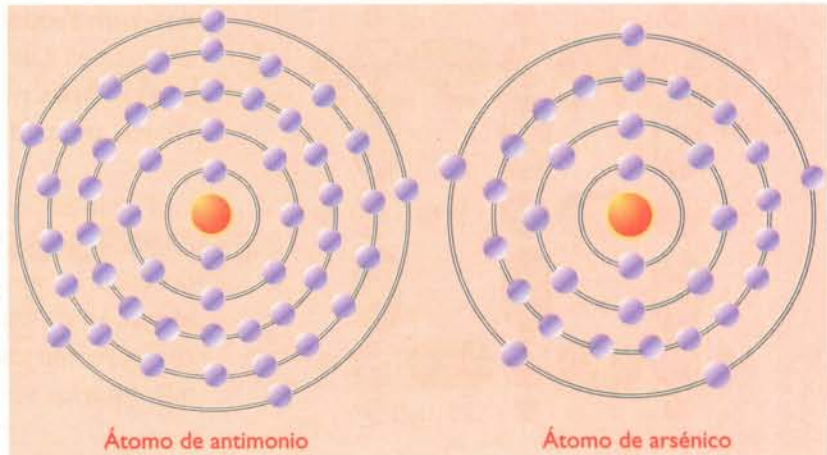


Figura 9.4. Estructura atómica de las impurezas pentavalentes

transportar corrientes significativas; dichos cristales, reciben el nombre de **semiconductores intrínsecos**. En la práctica, los materiales semiconductores utilizados en la fabricación de diodos, transistores, circuitos integrados, etc., están **dopados**, es decir, contienen unas cantidades muy pequeñas, pero controladas, de impurezas llamadas **dopantes** que son las que determinan sus características eléctricas. Este tipo de semiconductores se denominan **semiconductores extrínsecos**.

Dopar un semiconductor significa inyectarle átomos de otros elementos. Al hacer esto, se pretende que cuando se formen los enlaces entre los electrones de valencia queden electrones sin enlazar o, por el contrario, queden faltando electrones para completar los enlaces. Para ello, deben inyectarse átomos de elementos que tengan cinco electrones de valencia (denominados pentavalentes) o átomos de elementos que tengan solo tres electrones de valencia (denominados trivalentes), respectivamente.

Los semiconductores dopados con impurezas pentavalentes, se denominan **semiconductores tipo N** y se caracterizan porque en éstos solo cuatro de los electrones del átomo dopante forman enlaces con los átomos del cristal puro; el electrón sobrante tiene la libertad de moverse a través del cristal, convirtiéndose en un portador de corriente. **Figura 9.3.** Los principales materiales usados como **dopantes** son: el antimonio, el arsénico y el fósforo. En la **figura 9.4** se observa la estructura atómica de estos elementos.

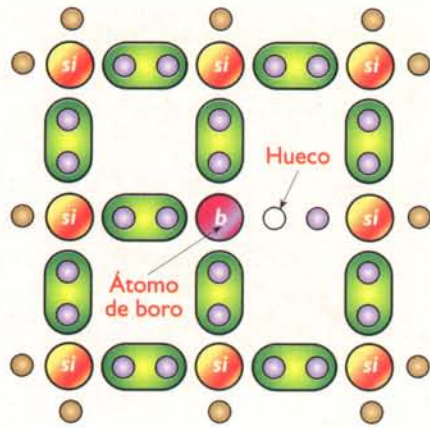


Figura 9.5. Semiconductor tipo P

Los semiconductores dopados con impurezas trivalentes se denominan **semiconductores tipo P** y se caracterizan porque en ellos los tres electrones del átomo dopante forman enlaces con los átomos del cristal puro, completando solo siete electrones de valencia, **figura 9.5**.

El electrón faltante produce un hueco el cual se comporta como una carga positiva libre, capaz de atraer un electrón externo. Por lo tanto, un semiconductor tipo P es un **aceptor** de electrones. Los principales elementos utilizados como impurezas aceptoras son el aluminio, el boro, el indio y el galio. En la **figura 9.6** se observa la estructura atómica de estos elementos.

Debido a la adición de impurezas, un semiconductor tipo N tiene más electrones libres que hue-

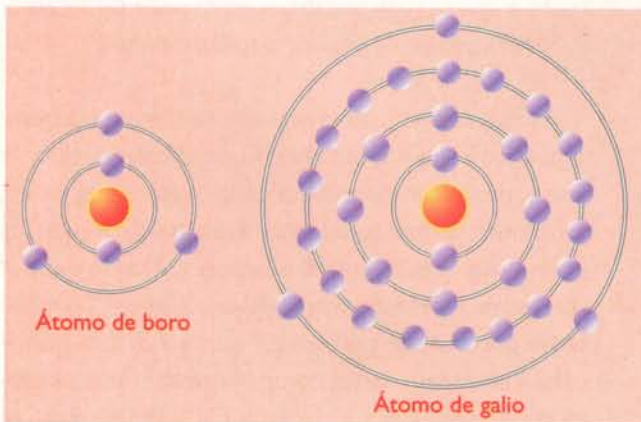


Figura 9.6. Estructura atómica de las impurezas trivalentes

cos y un semiconductor tipo P más huecos que electrones. Las cargas en exceso se denominan **portadores mayoritarios** y las cargas en deficiencia **portadores minoritarios**.

Por lo tanto, en un semiconductor tipo N los portadores mayoritarios son los electrones y los portadores minoritarios son los huecos. De otra forma, en un semiconductor tipo P, los portadores mayoritarios son los huecos y los portadores minoritarios son los electrones.

Cuando se aplica un voltaje a un semiconductor tipo N ó P, el resultado es la circulación de una corriente relativamente grande a través de él debido a los portadores mayoritarios y una corriente relativamente pequeña debida a los portadores minoritarios.

Esta última, que es del orden de unos pocos microamperios, se denomina **corriente de fuga** y depende principalmente de la temperatura. **Figura 9.7**

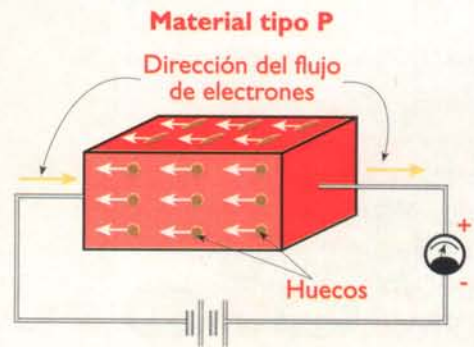
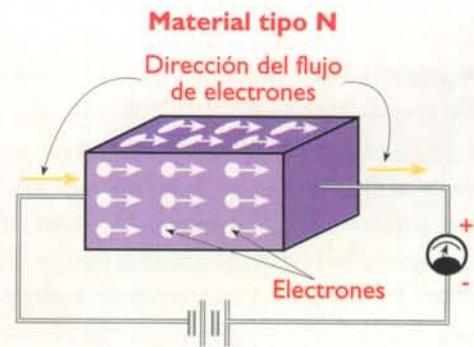


Figura 9.7. Corriente en los semiconductores

Los materiales semiconductores P y N por sí solos no son de mucha utilidad en la práctica; para que éstos sean realmente útiles, deben unirse en dos o más capas formando uniones de diferente tipo con las cuales se fabrican los componentes semiconductores. Ellos forman parte del grupo de componentes activos o no lineales enunciados al principio de este curso. A continuación iniciaremos su estudio con el más simple de ellos: el **diodo**.

El diodo (diode)

Como ya lo hemos mencionado, el descubrimiento de las propiedades físicas de ciertos materiales, llamados **semiconductores**, revolucionó totalmente la electrónica y podríamos decir sin temor a equivocarnos que cambió radicalmente la forma de vida del hombre sobre la tierra. El componente semiconductor más sencillo, pero quizás el más importante, es el **diodo**, **figura 9.8**, ya que, de acuerdo a su funcionamiento y a sus principios básicos, se fabrican los componentes más representativos en la electrónica moderna, como son los transistores y los circuitos integrados, los cuales han permitido la fabricación masiva de radios, televisores, sistemas de sonido, de comunicaciones, computadoras, etc. A los semiconductores también se les llama **dispositivos en estado sólido** (*solid state devices*).

Breve historia

Los primeros descubrimientos sobre las propiedades especiales semiconductoras de algunos materiales, como el selenio, se remontan al año 1876, mucho antes de los tubos de vacío. El principio básico de funcionamiento del diodo fue enuncia-

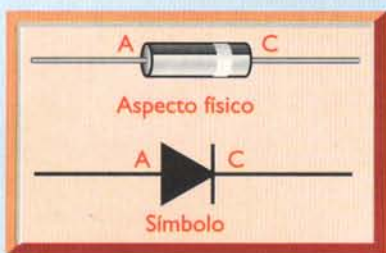


Figura 9.8. El diodo rectificador

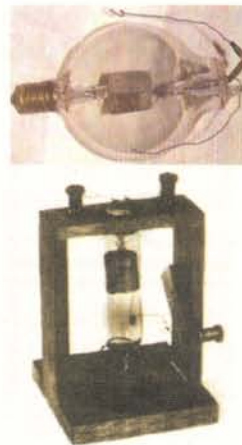


Figura 9.9. Primeros diodos de vacío. Aspecto físico y símbolo

do por primera vez por Thomas Alva Edison en 1884 y fue llamado «Efecto Edison». Sin embargo, este gran inventor no lo utilizó en ninguno de sus aparatos y según este descubrimiento, se fabricó en 1905 el primer tubo de vacío llamado diodo (*diode* en inglés y que quiere decir «dos electrodos o dos terminales»). Su invención se le atribuye a Sir John Ambrose Fleming (1849-1945), **figura 9.9**, y cuya principal aplicación era servir como rectificador o como detector, es decir, para convertir corriente alterna (CA) en corriente continua (CC), o para convertir las señales débiles de radiofrecuencia recibidas de las emisoras en voltajes de corriente continua, para manejar otros circuitos y generar el sonido correspondiente a las mismas en un parlante. Es en esta época cuando se señala la fecha de nacimiento de la era moderna de la electrónica, la cual acaba de cumplir el primer siglo.

Algunos diodos semiconductores primitivos se fabricaron con cristal de galena (sulfuro de plomo) y se utilizaron como detectores en los primeros radiorreceptores por allá en el año 1905. Luego, alrededor de los años 1949 y 1950, se fabricaron los primeros diodos con germanio (Ge), material que no se comportaba muy bien con la temperatura por lo que se utilizó luego el silicio (Si), que es el material más utilizado en la actualidad para este propósito. El germanio se sigue utilizando en algunos tipos de diodos que requieren características especiales.

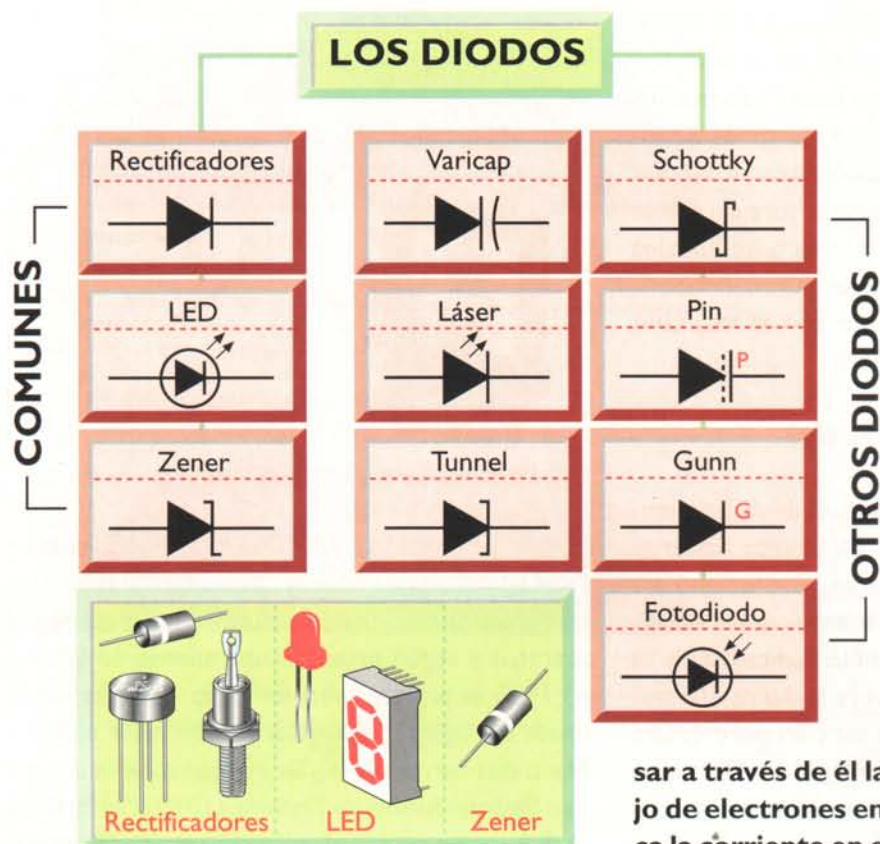
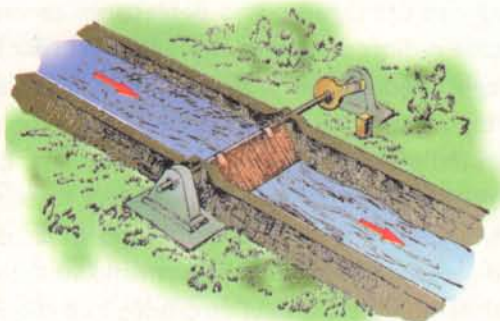


Figura 9.10. Clasificación de los diodos, sus símbolos y aspecto físico de algunos de ellos

Tipos de diodos

Según su fabricación, funcionamiento y características eléctricas, hay diferentes tipos de diodos los cuales podríamos dividir en dos grupos principales. Los más comunes o utilizados en todo tipo de aparatos electrónicos son: los diodos rectificadores, los diodos LED y los diodos Zener, y los otros, no tan comunes, como: los diodos láser, tunnel, Schottky, PIN, Gunn y los fotodiodos, figura 9.10.

La presión del agua empuja la compuerta y el agua circula en este sentido



En este sentido, el agua empuja la compuerta y debido al tope del lado derecho, esta se cierra y el agua no circula

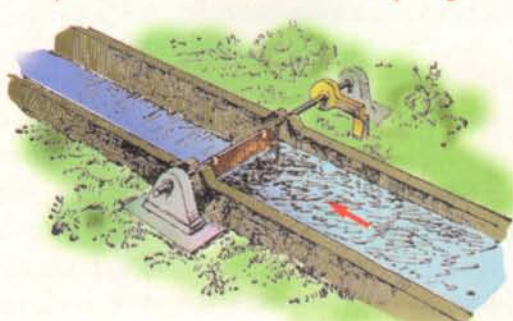


Figura 9.11. El diodo es una compuerta de una sola vía para los electrones

Cada uno de estos tipos tiene a su vez otras subdivisiones lo cual explicaremos más adelante.

Funcionamiento básico de los diodos

Antes de continuar con la descripción de los diferentes tipos de diodos, es muy importante y necesario comprender cómo funciona un diodo rectificador en cuyo principio básico se basan los demás.

Podemos decir que un: **diodo es una compuerta de una sola vía, es decir, que solo deja pasar**

a través de él la corriente eléctrica o flujo de electrones en un solo sentido; si se aplica la corriente en el sentido contrario, el diodo no conduce. Esto lo podemos entender mejor utilizando la analogía de un canal de agua con una compuerta especial como se muestra en figura 9.11.

Teniendo en cuenta que la electrónica es la tecnología que utiliza el control del flujo de los electrones para manejar todo tipo de información y otros efectos, como la voz, imagen, datos, movimientos, etc., este principio parece muy elemental; sin embargo, es la base de toda la electró-

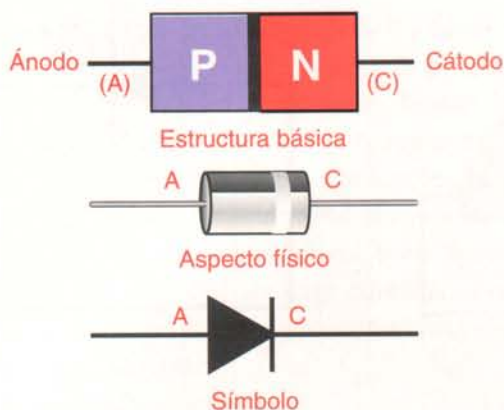


Figura 9.12. Juntura PN o diodo

nica moderna ya que un transistor está formado por dos diodos y un circuito integrado puede contener desde unos cientos hasta varios millones de transistores; por lo tanto, el diodo es el elemento constructivo básico de toda la electrónica y de ahí su gran importancia. Veamos ahora cómo funciona un diodo; para explicarlo debemos retomar el tema de los materiales semiconductores P y N visto anteriormente.

Habíamos dicho que estos materiales P y N en forma individual no tenían mucha aplicación práctica, pero si los unimos se producen fenómenos muy interesantes.

La juntura PN

Un diodo es esencialmente la unión de un material tipo P con un material tipo N lo cual se ha llamado **juntura PN**. Conservando la nomenclatura de los antiguos diodos de vacío, el material P recibe el nombre de **ánodo** el cual se representa con la letra **A** y el material N

recibe el nombre de **cátodo**, representado con la letra **C** o **K**. **Figura 9.12**

En una unión de este tipo, cuando el diodo no está polarizado o conectado a una fuente de voltaje, hay inicialmente un exceso de electrones en el lado N y un exceso de huecos en el lado P. Por lo tanto, al unir dos capas de material semiconductor, algunos electrones del lado N son atraídos por algunos huecos del lado P y viceversa, mediante un proceso de difusión. En otras palabras, ocurre un fenómeno similar al que sucede cuando se abre un frasco de perfume. Al abrirlo, las moléculas del aroma que estaban altamente concentradas en el frasco forman un vapor oloroso y se van mezclando o difundiendo con las moléculas del aire en donde antes no estaban.

En la juntura PN proceso de intercambio de cargas continúa hasta que se forma entre ellos una barrera eléctrica de voltaje que impide el paso de un gran número de portadores mayoritarios de un lado a otro; dicha barrera es llamada zona de agotamiento (*depletion zone*) y tarda muy poco tiempo en formarse. **Figura 9.13**

Así, en el límite de la juntura, el material tipo N queda cargado positivamente y el material tipo P queda cargado negativamente creando una diferencia de potencial pequeña, pero de gran importancia.

En una unión PN o diodo de silicio el potencial de la barrera es de aproximadamente 0,6V, mientras que en uno de germanio es de aproximadamente 0,3V. **Las características de la zona de agotamiento pueden controlar-**

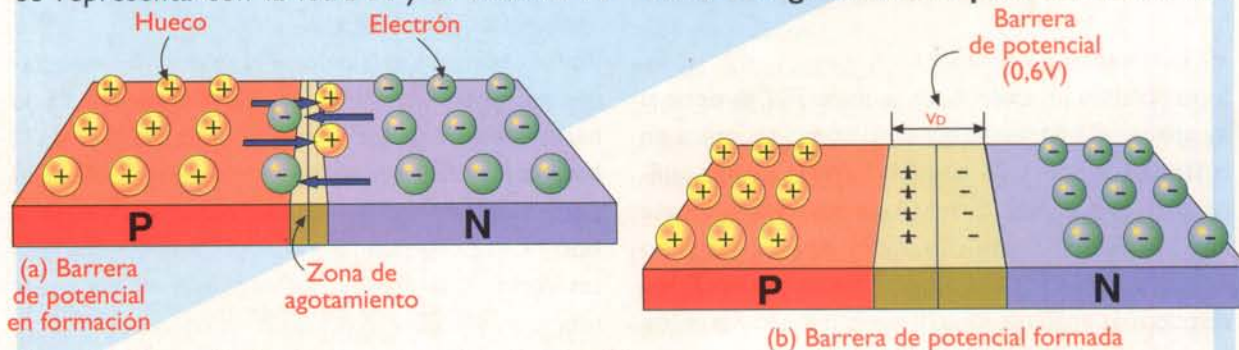


Figura 9.13. Formación de la barrera de potencial en la juntura PN

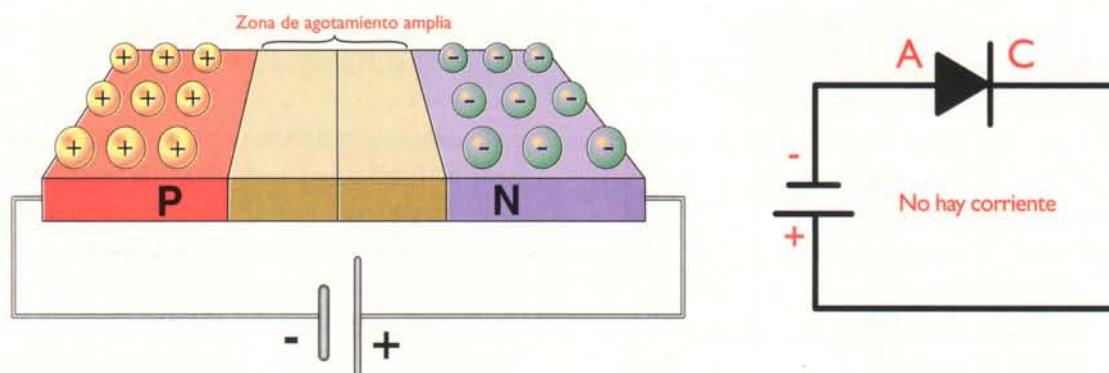


Figura 9.14. Polarización inversa de un diodo

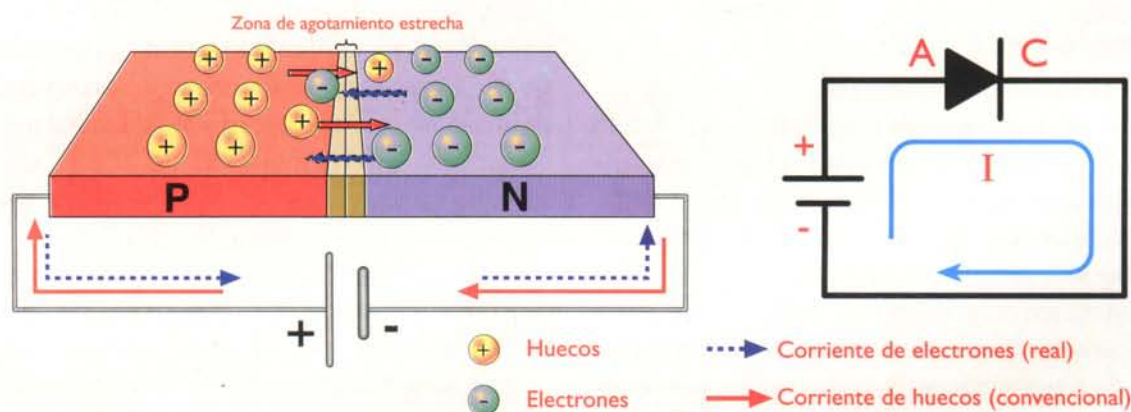


Figura 9.15. Polarización directa de un diodo

se aplicando una diferencia de potencial o voltaje externo, lo que hace realmente útil esta unión.

Cuando tenemos este componente y se le aplica un voltaje de corriente continua (polarización), hay dos posibilidades: si el voltaje positivo se aplica al ánodo se dice que hay una **polarización directa** y en el caso contrario, cuando el voltaje positivo se aplica al cátodo, se establece una **polarización inversa**.

Polarización inversa

Si se polariza inversamente la unión PN, es decir si se aplica un voltaje externo, tal como se indica en la **figura 9.14**, el efecto de la barrera se intensifica, debido a que el terminal positivo de la fuente atrae los electrones del material tipo N y el polo negativo atrae los huecos del material tipo P, haciendo más ancha la zona de agotamiento y la unión presenta una alta resistencia al paso de la corriente,

comportándose como un **aislante**; solo unos pocos portadores minoritarios logran atravesar la barrera formando la denominada corriente de fuga que es muy pequeña y que en muchos casos prácticos no se tiene en cuenta.

Cuando el voltaje aplicado en forma inversa aumenta hasta cierto valor, esta corriente se hace muy grande y destruye el diodo, lo que explicaremos más adelante.

Polarización directa

Por el contrario, si la unión PN se polariza directamente, tal como se muestra en la **figura 9.15**, la barrera se disminuye ya que el polo positivo de la batería repele los huecos del material tipo P y su polo negativo repele los electrones del material tipo N, haciendo que atraviesen la unión. Bajo estas condiciones la unión PN presenta una resistencia muy baja al paso de la corriente, comportándose como un **conductor**.

Teóricamente los diodos rectificadores deberían comportarse como interruptores perfectos, es decir, no deberían permitir el paso de ninguna corriente cuando están polarizados inversamente y no deberían ofrecer ninguna resistencia al paso de la misma cuando se encuentran polarizados directamente, **figura 9.16**. Sin embargo, en la realidad se observan algunas características especiales que se ilustran en la **figura 9.17**.

La conducción de polarización directa no empieza en 0V, sino cuando se supera el voltaje de umbral o la barrera de potencial. Por esta razón, existe una pequeña caída de voltaje en el diodo cuando éste se encuentra polarizado directamente, y la corriente a través del diodo cuando está polarizado inversamente no es cero, hay una pequeña corriente de fuga. Un diodo polarizado inversamente conduce cuando el voltaje aplicado alcanza un cierto valor, a lo cual se le llama voltaje de ruptura inverso.

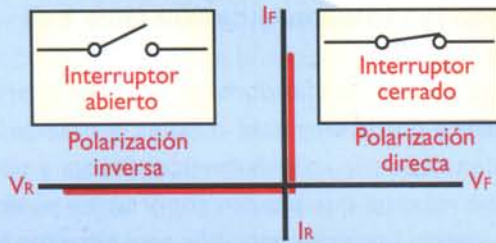


Figura 9.16. Comportamiento ideal de un diodo

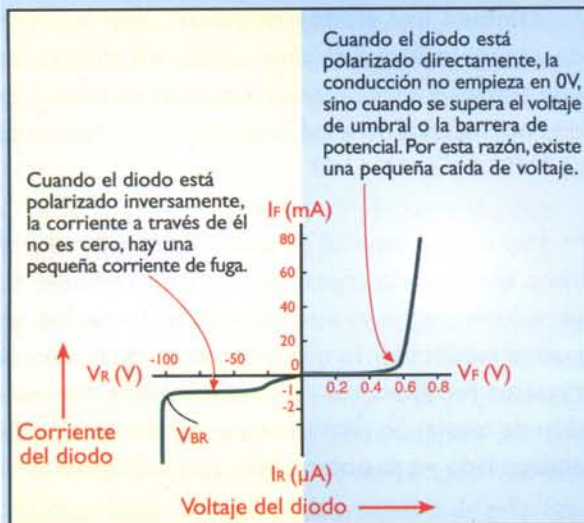


Figura 9.17. Comportamiento real de un diodo

Por lo anterior podemos deducir que un diodo se debe conectar en una sola forma, es decir, es un componente polarizado y se debe respetar la conexión del ánodo y el cátodo en una determinada posición, según la tarea del diodo, lo cual estudiaremos más adelante cuando veremos varios circuitos en donde se utilizan estos componentes.

Tipos de diodos

Como ya lo vimos, existen varios tipos de diodos semiconductores. Éstos se pueden clasificar de acuerdo a sus características eléctricas y a sus características constructivas, las cuales determinan sus aplicaciones. Las principales características eléctricas son:

- **Corriente máxima (I_F):** es el valor máximo de la corriente promedio que pueden conducir en polarización directa sin destruirse por sobrecalentamiento.
- **Voltaje de conducción directa (V_F):** es el valor de la caída de voltaje en un diodo semiconductor polarizado directamente, como resultado de la corriente que circula a través de él. Dicho valor es ligeramente superior al potencial de la barrera.
- **Voltaje de ruptura o de avalancha (V_{BR}):** indica el nivel de voltaje, que aplicado a un diodo polarizado inversamente, puede hacerlo conducir llegando incluso a destruir el dispositivo, ya que en el momento de la conducción la corriente inversa de fuga crece bruscamente. Su valor es generalmente alto, del orden de 100V o más, excepto en los diodos Zener.
- **Corriente inversa de fuga (I_R):** es la corriente que circula a través de un diodo polarizado inversamente. Teóricamente es igual a cero, pero en realidad ésta tiene un valor muy pequeño, del orden de los microamperios o nanoamperios.
- **Tiempo de recuperación inverso (T_{RR}):** expresa el tiempo que tarda la unión PN en desalojar la carga eléctrica que acumula, cuando se encuentra polarizado inversamente.

Estas características se deben tener en cuenta en el momento de elegir el modelo más apropiado para una tarea específica. Procure no acercarse de-

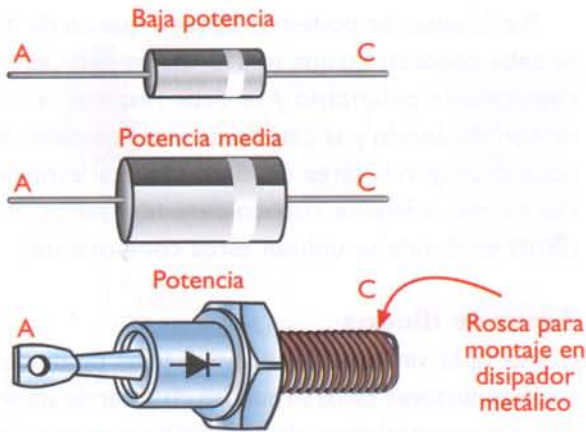


Figura 9.18 Diodos rectificadores

masiado a los valores máximos, ya que puede ocurrir un daño fácilmente y con ello se reduce la vida útil del componente.

Identificación de los diodos

Los diodos, en general, se identifican mediante una referencia o nomenclatura. Para estas referencias hay tres sistemas: el americano, el europeo y el japonés. En el sistema americano, la referencia consta del prefijo **IN** seguido de un número de serie, por ejemplo: **IN4001**. La **N** significa que se trata de un semiconductor, el **I** indica el número de uniones PN y el **4001** las características propias del dispositivo; en este caso una corriente de trabajo de 1,5 amperios y un voltaje de ruptura inverso de 200 voltios. En el sistema europeo o continental, se utiliza un prefijo de dos letras, por ejemplo **BY254**. En este caso la letra **B** indica el material y la **Y** el tipo. Estas reglas no siempre se cumplen ya que muchos fabricantes utilizan sus propias referencias. El sistema japonés asigna el **1** como primer dígito para diodos, seguido de la letra **S** y un número que indica las características propias de ese diodo. Por ejemplo, **1S922**.

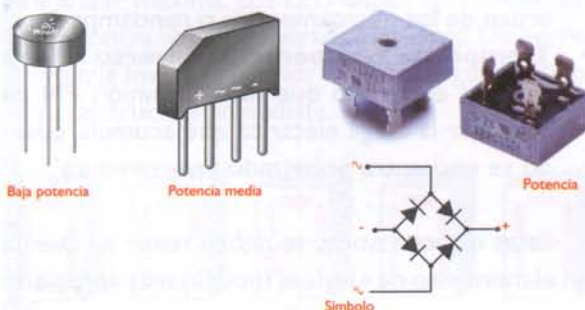


Figura 9.19 Puentes rectificadores

En cuanto a su uso los tipos de diodos más utilizados son los diodos rectificadores, los diodos Zener y los diodos LED.

Diodos rectificadores (rectifier diodes)

A esta familia pertenecen todos los diodos que han sido diseñados especialmente para convertir CA en CC, en las fuentes de potencia (*power supplies*) lineales. Este proceso se llama rectificación y se estudia detalladamente en la sección de teoría. De acuerdo a la potencia manejada (corriente y voltaje), éstos se dividen en diodos de señal y diodos de potencia. Los de señal o baja potencia son aquellos que manejan menos de 1 amperio, y los de potencia, los que trabajan con corrientes superiores a 1 amperio. El encapsulado de éstos depende de la potencia que deben disipar. En los de baja potencia se usa el plástico y para las potencias superiores a 5 W, el encapsulado debe ser metálico; cuando las potencias son muy altas el encapsulado debe ofrecernos la posibilidad de conectarlo a un disipador de calor, figura 9.18.

Los diodos rectificadores se especifican principalmente por la corriente máxima promedio que pueden conducir en polarización directa y por el voltaje máximo que pueden soportar en polarización inversa. Los más conocidos, para circuitos electrónicos comunes, son los de la serie IN4001, IN4002, hasta el IN4007.

También hay diodos rectificadores llamados de conmutación o *suicheo* (*switching diodes*) los que trabajan a frecuencias mayores que los diodos normales. Entre los más conocidos tenemos el IN914 y el IN4148.

Hay un tipo especial de diodo rectificador el cual viene encapsulado conteniendo cuatro unidades en un solo empaque ya interconectadas formando un puente rectificador lo que facilita la construcción de circuitos rectificadores de onda completa (ver sección de teoría). Se clasifican de acuerdo a su tipo de encapsulado y a su potencia de trabajo. Figura 9.19

Diodos Zener (Zener diodes)

Son diodos especialmente diseñados para trabajar

en la zona de ruptura, comportándose en polarización directa como diodos rectificadores y en polarización inversa como referencias de voltaje. Su principal aplicación es como reguladores de voltaje. En la **figura 9.20** se muestran el símbolo utilizado en los esquemas electrónicos para representarlos y la curva característica V-I típica.

De acuerdo a esta curva, en un diodo Zener polarizado inversamente la corriente inversa (I_R) es prácticamente insignificante, hasta que el voltaje inverso (V_R) alcanza un cierto valor V_Z , llamado **voltaje Zener** o de referencia. Cuando se llega a este punto, el diodo entra en conducción, permitiendo la circulación de una corriente importante. A partir de entonces, la tensión entre sus terminales permanece prácticamente constante e igual a V_Z para una amplia gama de valores de I_R . Esta propiedad es la que permite utilizar los diodos Zener como reguladores de voltaje y/o referencias de tensión en un gran número de usos. En la sección de teoría se explican los circuitos más comunes para este propósito.

Los diodos Zener se identifican por una referencia, digamos **1N3828** o **BZX85**, y se especifican principalmente por su voltaje Zener nominal (V_Z) y la potencia máxima que pueden absorber en forma segura sin destruirse (P_Z). Actualmente se consiguen diodos Zener con valores estándar de V_Z desde 2,0V hasta 200V y valores máximos de P_Z de 0,25 W, 0,5 W, 1 W, 5 W, 10 W y 50 W. Los valores de V_Z disponibles son similares a los de la serie E24 de resistencias de carbón. Por ejemplo, los valores comerciales de V_Z más próximos a 5V son 4,7V y 5,1 V.

Diodos LED o diodos emisores de luz (Light Emitting Diodes)

Debido a su gran cantidad de usos, bajo consumo de corriente, durabilidad, una buena variedad de formas y tamaños y otros factores, estos diodos luminosos han ido ganando una gran popularidad en la electrónica moderna reemplazando casi que totalmente los indicadores de otros tipos. Son diodos hechos generalmente de arseniuro de galio fosfatado (GaAsP), que emiten luz en forma continua o intermitente cuando se polarizan directamente.

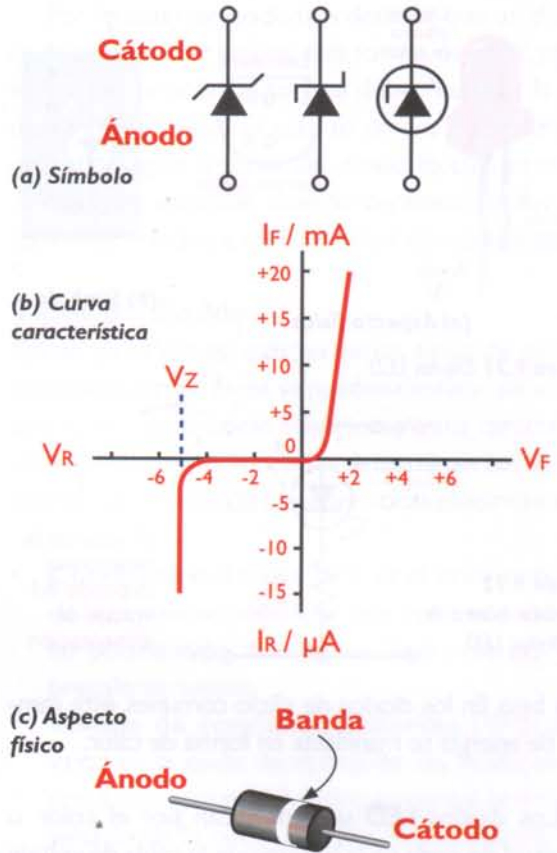


Figura 9.20 Diodos Zener

Se utilizan primariamente como indicadores y para la construcción de visualizadores. Bajo determinadas condiciones, pueden también actuar como detectores de luz. La luz emitida por un LED puede ser roja, amarilla, anaranjada, verde o azul, dependiendo de su composición.

Un grupo muy importante son los **LED infrarrojos** o **IRE** (*infrared diodes*), que emiten una luz invisible para el ojo humano, son utilizados en dispositivos de control remoto, alarmas, barreras infrarrojas, etc. También hay **diodos láser**, que emiten una luz altamente concentrada y coherente, de los cuales hablaremos más adelante.

En la **figura 9.21** se muestra el aspecto físico de un LED, el símbolo utilizado para ellos en los esquemas electrónicos, y la forma de identificar el cátodo (C ó K) en un LED de cápsula circular. Los LED emiten luz debido a que los electrones, al combinarse con los huecos, pasan de un nivel energético superior a uno

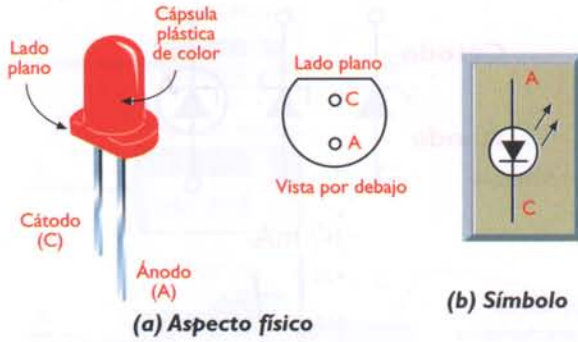


Figura 9.21 Diodos LED

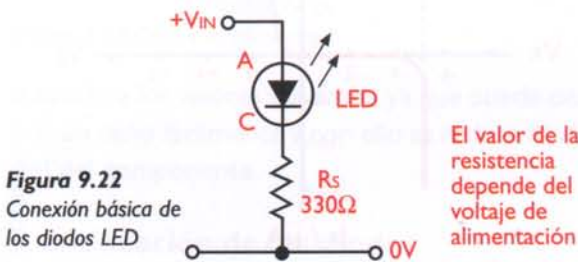
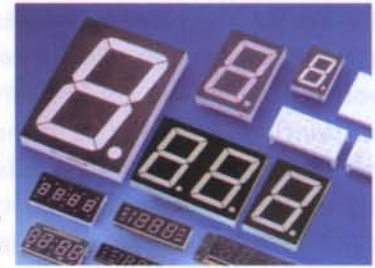


Figura 9.22 Conexión básica de los diodos LED

más bajo. En los diodos de silicio comunes, este cambio de energía se manifiesta en forma de calor.

Los diodos LED se especifican por el color o longitud de onda de la luz emitida, la caída de voltaje directa (VF), el máximo voltaje inverso (VR), la máxima corriente directa (IF) y la intensidad luminosa. Típicamente, VF es del orden de 1,6 V a 2,8 V y VR del orden de 4 V a 5 V. Se consiguen LED con valores de IF desde menos de 20 mA hasta más de 100 mA, e intensidades desde menos de 0,5 mcd (milicandelas) hasta más 4.000 mcd. Entre mayor sea la corriente aplicada, mayor es el brillo, y viceversa. El valor de VF depende del color, siendo mínimo para LED rojos y máximo para LED azules. Los diodos LED deben ser protegidos mediante una resistencia en serie, como se indica en la **figura 9.22**, para limitar la corriente a través suyo a un valor seguro, inferior a la IF máxima. Los LED deben también protegerse contra voltajes inversos excesivos. De hecho, un voltaje inverso superior a 5 V causa generalmente su destrucción inmediata.



(a) Aspecto físico

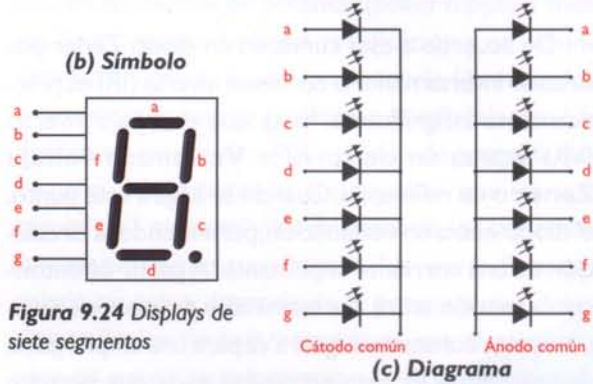


Figura 9.24 Displays de siete segmentos

Displays o indicadores con diodos LED

Los diodos LED se pueden agrupar para formar indicadores numéricos los cuales son muy utilizados para expresar cantidades en diferentes tipos de circuitos o aparatos digitales, como instrumentos (multímetros, voltímetros, amperímetros, etc.) o en proyectos como termómetros, contadores, velocímetros, medidores de otros tipos de magnitudes, etc.

Los más conocidos son los llamados *displays* de siete segmentos en los cuales hay siete LED (segmentos) organizados en una forma tal, que al encenderlos con diferentes combinaciones, se pueden mostrar o indicar todos los números dígitos (0 a 9), **figura 9.23**. Éstos vienen en dos formas, de ánodo común y de cátodo común, según su conexión interna, y en diferentes tamaños y colores. En la **figura 9.24** se muestra su aspecto físico, el símbolo y el circuito interno. En las secciones de teoría y proyectos se presentan varios circuitos con este tipo de componentes en donde se explica su funcionamiento y conexión.

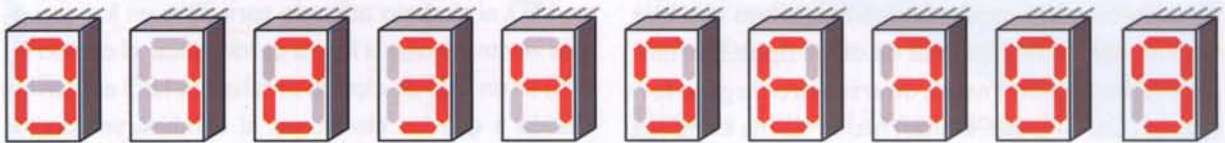


Figura 9.23 Representación de los dígitos de 0 a 9 en un display de siete segmentos

Otros tipos de diodos

Aprovechando la propiedad básica de conducir la corriente eléctrica en un sentido, mientras la bloquean en el otro, y las características excepcionales de las uniones PN, existen varios tipos de diodos para tareas especiales. Dentro de esta categoría se incluyen, por ejemplo, los diodos detectores, los fotodiodos, los diodos Schottky, los diodos varicap, los diodos túnel, los diodos láser y los diodos de microondas.

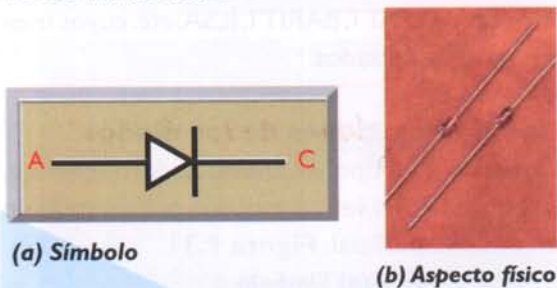


Figura 9.25. Diodos detectores o de señal

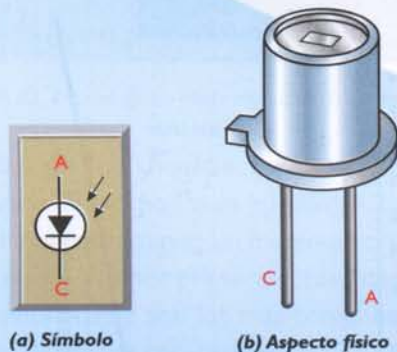


Figura 9.26. Fotodiodos

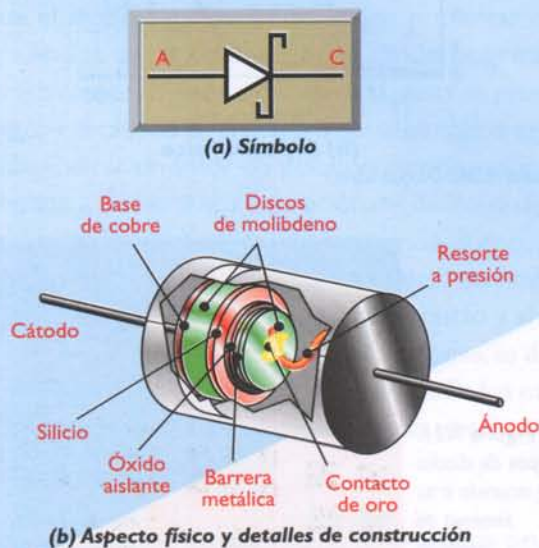


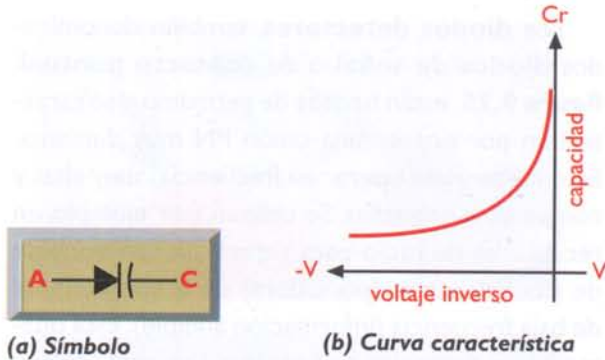
Figura 9.27. Diodos Schottky

Los **diodos detectores**, también denominados **diodos de señal** o de **contacto puntual**, figura 9.25, están hechos de germanio y se caracterizan por poseer una unión PN muy diminuta. Esto les permite operar en frecuencias muy altas y con señales pequeñas. Se utilizan, por ejemplo, en receptores de radio para separar la componente de alta frecuencia (portadora) de la componente de baja frecuencia (información audible). Esta operación se denomina **detección**. Los más conocidos de este tipo son el IN34 y el IN60.

Los **fotodiodos**, figura 9.26, son diodos provistos de una ventana transparente cuya corriente inversa puede ser controlada regulando la cantidad de luz que pasa por la ventana e incide sobre la unión PN. A mayor cantidad de luz incidente, mayor es la corriente inversa producida porque se genera un mayor número de portadores minoritarios, y viceversa. Son muy utilizados como sensores de luz en fotografía, sistemas de iluminación, contadores de objetos, sistemas de seguridad, receptores de comunicaciones ópticas y otras aplicaciones.

Los **diodos Schottky**, también denominados **diodos de recuperación rápida** o de **portadores calientes**, figura 9.27, están hechos de silicio y se caracterizan por poseer una caída de voltaje directa (V_F) muy pequeña, del orden de 0,25V o menos, y ser muy rápidos. Se utilizan en fuentes de potencia de conmutación o *suicheo*, en sistemas digitales y en equipos de alta frecuencia. Una variante de este tipo son los **diodos back** o de **retroceso**, los cuales tienen un voltaje de conducción prácticamente igual a cero, pero también un voltaje inverso de ruptura muy bajo. Esto último limita su uso a tareas muy especiales.

Los **diodos varicap**, también llamados **varactores** o **diodos de sintonía**, figura 9.28, trabajan polarizados inversamente y actúan como condensadores variables controlados por voltaje. Esta característica los hace muy útiles como elementos de sintonía en receptores de radio y televisión. Son también muy utilizados en osciladores, multiplicadores, amplificadores, generadores de FM y otros

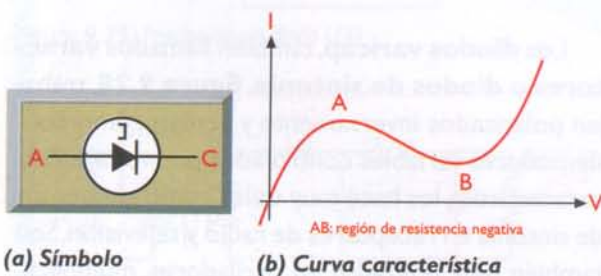


(a) Símbolo
 Figura 9.28. Diodos Varicap

circuitos de alta frecuencia. Una variante de los mismos son los **diodos SNAP**, utilizados para usos en UHF (ultra alta frecuencia) y microondas.

Los **diodos túnel**, también denominados **diodos Esaki**, figura 9.29, se caracterizan por poseer una zona de agotamiento extremadamente delgada y tener en su curva V-I una región de **resistencia negativa**, donde la corriente disminuye a medida que aumenta el voltaje. Esta última propiedad los hace útiles como detectores, amplificadores, osciladores, multiplicadores, interruptores, etc., en tareas de alta frecuencia.

Los **diodos láser**, también llamados **láseres de inyección o ILD (injection laser diodes)**, figura 9.30, son diodos LED que emiten una luz monocromática, generalmente roja o infrarroja, fuertemente concentrada, enfocada, coherente y potente. Son muy utilizados en computadoras y sistemas de audio y vídeo para leer discos compactos (CD) que contienen datos, música, películas, etc., así como en sistemas de comunicaciones para enviar información a través de cables de fibra óptica. También se emplean en marcadores luminosos, lectores de códigos de barras y otras aplicaciones.

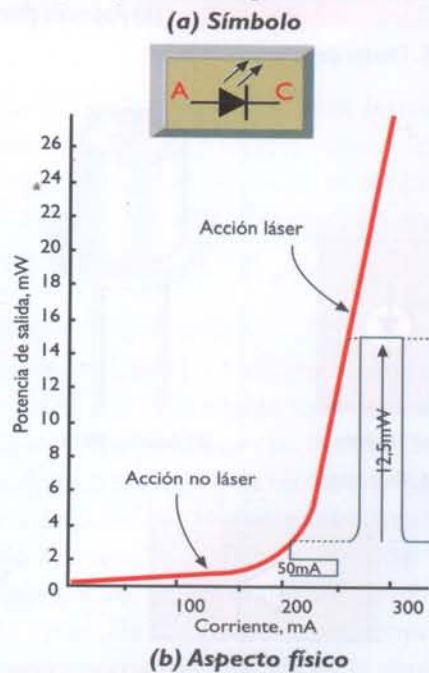


(a) Símbolo
 Figura 9.29. Diodos túnel

Los **diodos de microondas** son dispositivos desarrollados para trabajar en frecuencias muy elevadas, donde la capacidad de respuesta de los diodos comunes está limitada por su **tiempo de tránsito**, es decir el tiempo que tardan los portadores de carga en atravesar la unión PN. Los más conocidos son los diodos Gunn, PIN e IMPATT. Los diodos **PIN** se utilizan principalmente como resistencias variables por voltaje y los diodos **Gunn** e **IMPATT** como osciladores. También se dispone de diodos TRAPATT, BARITT, ILSA, etc. cuyos usos son muy especializados.

Otras clasificaciones de los diodos

De acuerdo a su tipo de encapsulado o montaje, los diodos pueden ser de montaje por inserción o de montaje superficial. **Figura 9.31.**



(a) Símbolo
 (b) Aspecto físico
 Figura 9.30. Diodos láser



(a) De inserción
 (b) De montaje superficial (SMT)
 Figura 9.31. Tipos de diodos de acuerdo a su sistema de montaje

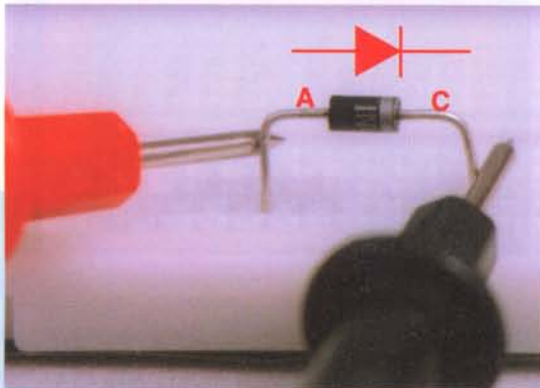
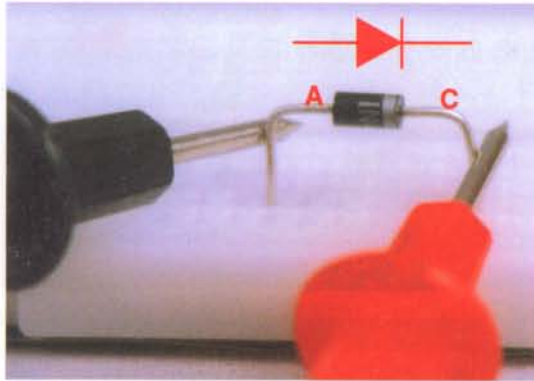


Figura 9.32. Prueba de un diodo con un multímetro análogo

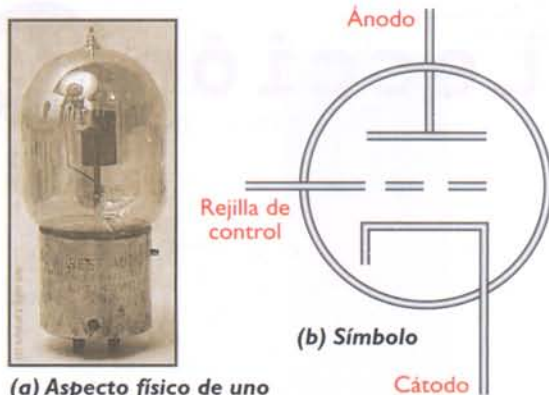
Prueba de los diodos

La mayoría de los diodos se pueden probar o verificar fácilmente utilizando un multímetro, ya sea análogo o digital. Veamos primero el caso de los diodos rectificadores, que son los más comunes. Seleccione la escala de más baja resistencia (RX1) y conecte el diodo entre las puntas de prueba. Para reconocer que el diodo está bueno se deben presentar dos resultados así: si conectamos el diodo polarizado directamente, es decir, el ánodo en la punta de prueba negra y el cátodo en la punta de prueba roja, la aguja debe indicar un valor de poca resistencia, unos 15 ohmios, y, si invertimos la posición del diodo, se debe presentar una lectura de alta resistencia. Si encuentra una baja resistencia (pocos ohmios) en ambas posiciones, el diodo está en **cortocircuito** y si no hay lectura en ninguna de las dos posiciones, se dice que el diodo está **abierto**. Figura 9.32. En los multímetros digitales las puntas de prueba se conectan al contrario, figura 9.33

Con el diodo Zener se puede hacer una prueba básica de conducción o no conducción similar a

la explicada para el diodo rectificador. En este caso las lecturas en el multímetro varían ligeramente. Para una prueba más precisa en donde se pueda medir el voltaje de conducción o V_z , se monta un circuito sencillo en un *protoboard*, Figura 9.34, y se alimenta con una fuente variable de CC aumentando lentamente el voltaje y midiéndolo permanentemente en los terminales del diodo Zener, hasta verificar que, al llegar al valor esperado de regulación (V_z), éste no varíe lo que indica que el diodo está bueno. Este procedimiento también se puede utilizar para averiguar el voltaje de un diodo Zener cuyo valor sea desconocido. Hay que tener cuidado con el valor de la resistencia en cuanto a ohmios y vatios la cual se puede ir cambiando de acuerdo a los valores utilizados.

La prueba de los LED también se puede hacer con un multímetro o con un circuito sencillo, teniendo en cuenta que éstos siempre deben tener una resistencia en serie para que no se supere el voltaje de conducción, el cual es muy bajo. Figura 9.35. Esta misma prueba se puede utilizar para



(a) Aspecto físico de uno de los primeros triodos

Figura 10.1. El triodo

Como lo mencionamos en la lección anterior, los semiconductores, iniciando con los diodos, revolucionaron totalmente la electrónica, pero fue con los transistores que este cambio tomó forma definitivamente, para luego consolidarse con los circuitos integrados.

Breve historia

Antes del transistor, su predecesor fue el tubo de vacío llamado triodo (tres electrodos), **figura 10.1**, inventado en 1906 por el norteamericano Lee de Forest (1873-1961), con el cual fue posible el control total del flujo de los electrones y la creación de los primeros circuitos **amplificadores**. Alrededor de este componente y sus sucesores, como los tubos tetrodo y pentodo, se inició y creció la gran industria electrónica entre los años 1920 y 1960, haciendo posible la fabricación masiva de los primeros receptores de radio y amplificadores de sonido, luego, los receptores de televisión, las primeras computadoras y los equipos de comunicaciones, entre otros.

El tema de los tubos de vacío (*vacuum tubes*) es muy interesante pero no lo trataremos en este curso ya que ellos casi no se utilizan en la práctica y pertenecen más a la historia, pero, debido a su importancia para la comprensión global de la electrónica y sus orígenes, invitamos a nuestros lectores a que lo investiguen en diferentes textos o a través de la internet, en donde hay una gran cantidad de páginas web dedicadas a ellos.

El transistor fue inventado en 1948 en los laboratorios de la Bell Telephone en E.U.A por un grupo de científicos liderados por John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain, **figura 10.2** lo que les hizo ganar el premio Nobel de física en el año 1956.

La palabra **transistor** es un acrónimo de los términos *transfer* y *resistor* (resistencia de transferencia) y designa, en forma genérica, a un componente electrónico de tres terminales cuya resistencia entre dos de ellos (colector y emisor) depende del nivel de corriente o voltaje aplicado al otro (base). Aprovechando esta propiedad, los transistores se utilizan como amplificadores, interruptores electrónicos, fuentes de corriente controladas, osciladores, mezcladores y en muchas otras aplicaciones prácticas.

Los transistores fueron reemplazando poco a poco a los tubos de vacío en todos sus usos, debido principalmente a estas ventajas:

- Larga vida útil
- Bajo consumo de energía
- Bajo costo
- Tamaño pequeño
- Estructura robusta y confiable

Tipos de transistores

Existen básicamente dos grandes grupos de transistores: los **transistores bipolares** (*bipolar transis-*



Figura 10.2. Inventores del transistor

tors) y los **transistores de efecto de campo** o **FET** (*Field Effect Transistors*). Estos últimos incluyen los FET de unión (JFET) y los FET de compuerta aislada (MOSFET). **Figura 10.3.** Actualmente son también muy populares los **transistores bipolares de compuerta aislada** ó **IGBT**, utilizados en electrónica de potencia, que son muy similares a los MOSFET en su estructura física, pero se asemejan más a los transistores bipolares en su operación eléctrica, temas éstos que explicaremos más adelante.

Los transistores bipolares

Son dispositivos semiconductores formados por una capa de material tipo P emparedada entre dos capas de material tipo N, o una de material tipo N emparedada entre dos de tipo P. En el primer caso se tiene un transistor **NPN** y en el segundo un transistor **PNP**. **Figura 10.4.** La capa central se denomina **base** (B) y las de los extremos **emisor** (E) y **colector** (C), respectivamente.

La base es sumamente estrecha y poco dopada en relación con el emisor y el colector. En consecuencia, tiene una concentración muy baja de portadores. El emisor, por su parte, está fuertemente dopado y la concentración de portadores mayoritarios disponibles supera ampliamente la de la base. De otro lado, el colector es sumamente amplio y tiene una alta concentración de portadores minoritarios en relación a la base y muy pocos portadores mayoritarios en comparación con el emisor.

En el caso de un transistor NPN, esto significa que la base no posee la suficiente cantidad de huecos para combinarse con todos los electrones que puede suministrar el emisor. Como resultado, la mayoría de estos electrones atraviesan la base en dirección del colector.

Polarización y funcionamiento

Debido a la forma como se alternan las capas P y N, en un transistor existen dos uniones PN: una entre emisor y base (EB), y otra entre colector y base (CB). Estas uniones deben polari-

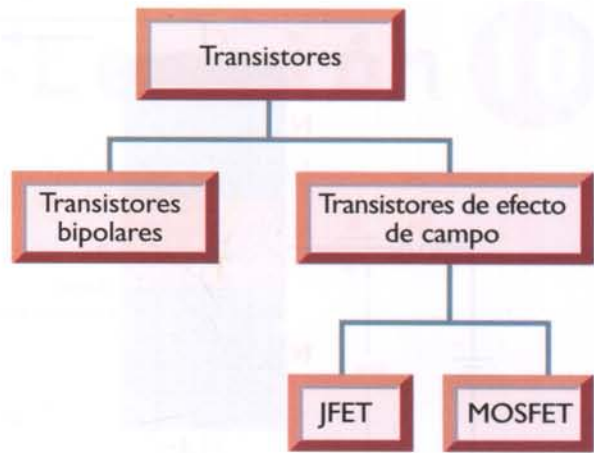


Figura 10.3. Principales grupos de transistores

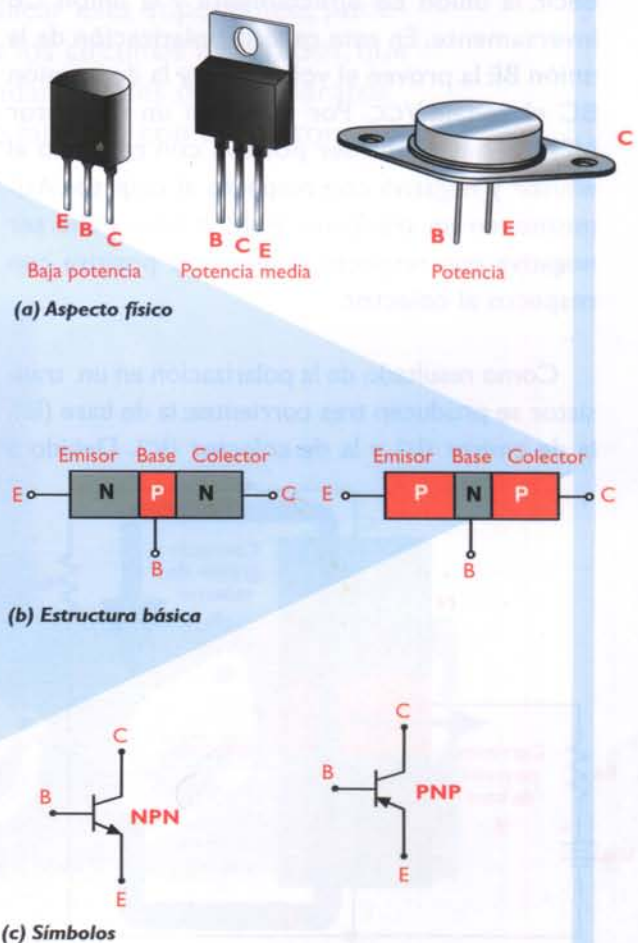


Figura 10.4. Principales tipos de transistores bipolares

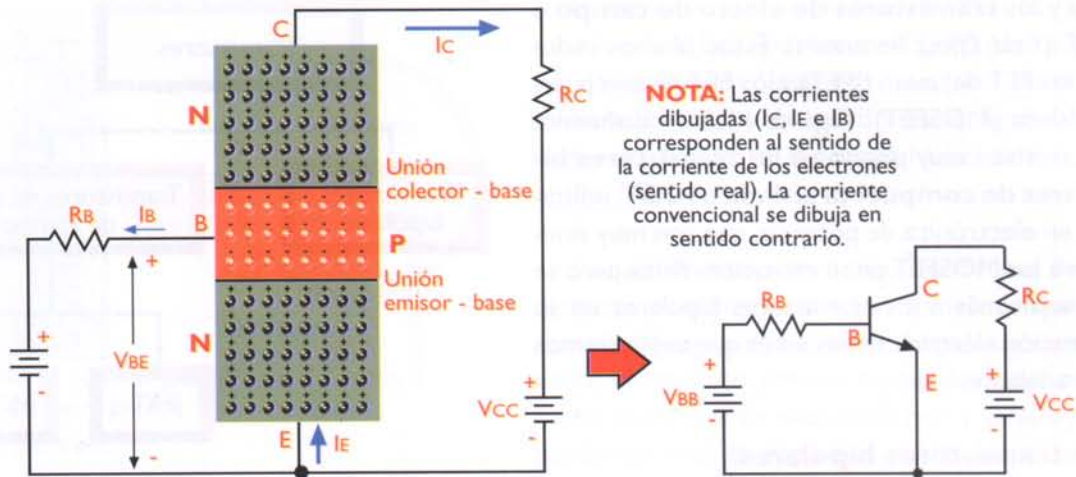


Figura 10.5. Polarización de un transistor bipolar NPN

zarse (suministrar voltajes fijos de CC en sus terminales), como se indica en la **figura 10.5**, es decir, la unión EB directamente y la unión CB inversamente. En este caso, la polarización de la unión BE la provee el voltaje V_{BB} y la de la unión BC el voltaje V_{CC} . Por tanto, en un transistor NPN, la base debe ser positiva con respecto al emisor y negativa con respecto al colector. Asimismo, en un transistor PNP, la base debe ser negativa con respecto al emisor y positiva con respecto al colector.

Como resultado de la polarización en un transistor se producen tres corrientes: la de base (I_B), la de emisor (I_E) y la de colector (I_C). Debido a

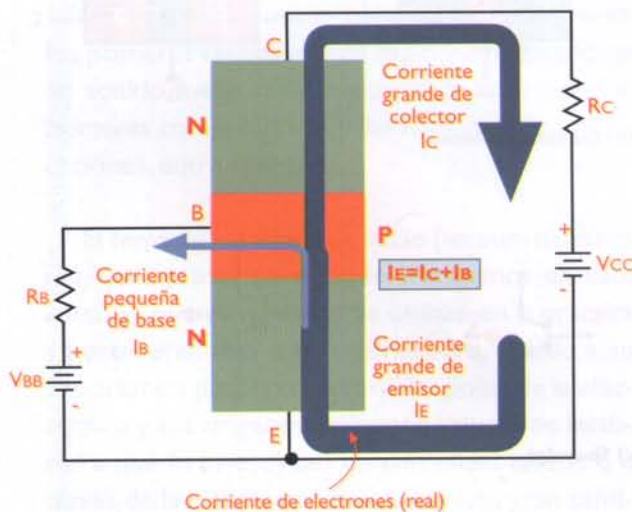


Figura 10.6. Combinación de corrientes en un transistor

que la unión BE está polarizada directamente, los portadores mayoritarios de ambas regiones son obligados por el voltaje V_{BB} a cruzar la unión y combinarse mutuamente. En el caso de un transistor NPN, esto significa que una parte de los electrones suministrados por el emisor (del 1% al 5%) se combinan con los pocos huecos disponibles en la base. Esto origina una corriente de base (I_B) relativamente pequeña.

Los electrones restantes (del 95% al 99%) son atraídos hacia el colector por la fuerte tensión inversa de polarización V_{CC} de la unión BC. Estos electrones cruzan la unión BC, pasan a través de la extensa región de colector y se dirigen hacia el polo positivo de la batería V_{CC} , creando una corriente de colector (I_C) muy intensa, **figura 10.6**. Las corrientes de colector (I_C) y de base (I_B) están relacionadas con la corriente de emisor (I_E), mediante la siguiente fórmula:

$$I_C = \beta \times I_B$$

Esto quiere decir que, con un transistor se puede lograr **amplificación de corriente**, el cual es el fenómeno fundamental que se produce en ellos y por medio del que se logró su incorporación en la electrónica moderna, pudiéndose fabricar así los aparatos que antes se elaboraban con tubos de vacío.

En otras palabras, con una corriente de base débil o pequeña se puede controlar una corriente alta de la misma forma que se hace en los tubos de vacío al controlar la corriente de placa o ánodo con la corriente de la rejilla de control. Si la corriente de base aumenta, la corriente de colector también aumenta, y, si la primera disminuye, ésta disminuye. Por tener este comportamiento, los transistores se han utilizado ampliamente como interruptores o como amplificadores (reguladores del paso de la corriente) en diferentes tipos de circuitos, los cuales se estudian en la sección de Teoría de este curso.

La capacidad de amplificación de un transistor se mide observando el efecto de la corriente de base (I_B) sobre la corriente de colector (I_C), para un determinado valor de V_{CE}. La relación entre ambas cantidades se denomina **ganancia de corriente** o Beta y se representa mediante el símbolo **β** o hFE. Esto es:

$$\beta(hFE) = \frac{I_C}{I_B}$$

Para entender mejor el funcionamiento de un transistor bipolar, nos podemos basar en la analogía con un canal de agua cuyo caudal es regulado por un canal más pequeño, tal como se muestra en las **figuras 10.7a, b y c**. En ellas podemos ver el efecto que tiene la cantidad de agua en el canal regulador (lateral) sobre el caudal del canal principal, cuya compuerta tiene un contrapeso de tal forma que, para moverlo, sólo se requiere de una pequeña fuerza.

Hay que mencionar que los circuitos con transistores requieren para su funcionamiento de los otros componentes ya estudiados, como son las resistencias, los condensadores, las bobinas, los transformadores y los diodos, entre otros. Esta combinación forma los circuitos electrónicos que se estudian en la sección de **Teoría** de este curso.

Características eléctricas y físicas de los transistores bipolares

Además del tipo (NPN o PNP) y del material con el cual se fabrican (germanio o silicio), los transistores bipolares se diseñan con diferentes características eléctricas dependiendo de su uso. Las principales son:

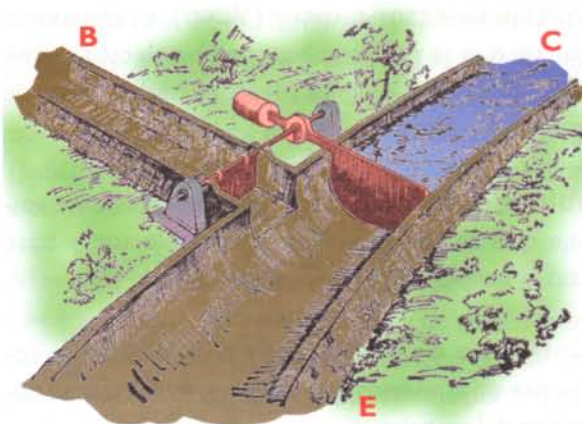


Figura 10.7a. Analogía de un canal de agua regulado con el transistor. En este caso no hay agua (corriente de base) en el canal regulador (B) y no hay paso de agua desde el punto C (colector) hacia el punto E (emisor).



Figura 10.7b. En este caso hay una débil corriente de agua en el canal regulador (B), por su efecto, la compuerta principal se abre un poco y deja circular una buena cantidad de agua entre los puntos C y E.



Figura 10.7c. En este caso hay una corriente de agua un poco mayor en el canal regulador (B). La compuerta principal se abre más y deja circular una mayor cantidad de agua entre los puntos C y E.

Voltaje colector-emisor (V_{CE0}): es el máximo voltaje que se puede aplicar entre colector y emisor con la base abierta (desconectada), antes de que el dispositivo se averíe.

Voltaje colector-base (V_{CB0}): es el máximo voltaje que se puede aplicar entre colector y base con el emisor abierto (desconectado).

Corriente de colector (I_C): es la máxima corriente en amperios que puede circular por el colector del transistor.

Potencia disipada (P_D): es la máxima potencia en vatios que puede manejar el transistor.

Ganancia de corriente (h_{FE}): es las veces que se amplifica la corriente de base. También llamada Beta (β).

Frecuencia de trabajo o de corte (f_T): es la máxima frecuencia de la señal con la cual puede trabajar el transistor como amplificador.

Encapsulado: es la forma, material y tamaño del empaque físico exterior. Hay varios tipos de encapsulados para los transistores bipolares, los cuales explicaremos en detalle más adelante. En la **figura 10.8** podemos observar los datos de un transistor típico en donde se resumen las características anteriores.

Estas características son las que determinan los valores máximos de trabajo para estos dispositivos. Lo que se recomienda en la práctica es ponerlos a trabajar con valores menores (entre un 50% y un

75%) con el fin de garantizar su duración, ya que si se trabaja con valores máximos se pueden averiar fácilmente. Estos valores (voltaje, corriente, potencia y frecuencia de trabajo) los determinan los circuitos y componentes externos (polarización) y las señales aplicadas a los transistores (ver sección de Teoría).

Hay muchas otras características eléctricas para los transistores bipolares las cuales no se estudiarán en este curso, pero que se pueden consultar en los manuales de los fabricantes.

De acuerdo a las características anteriores los transistores se clasifican en diferentes grupos. Por ejemplo, según la potencia de trabajo (P_D) la cual tiene que ver con la corriente y el voltaje manejados, hay transistores de baja potencia o baja señal, transistores de potencia media y transistores de potencia. Según la frecuencia de trabajo (f_T), hay transistores de baja frecuencia (para tareas de audio), de frecuencia media y de alta frecuencia o RF (radiofrecuencia) utilizados en aparatos de radio, televisión, comunicaciones, etc.

Encapsulados

En la práctica, los transistores se fabrican en serie, formando simultáneamente varios cientos o miles de ellos sobre una oblea (forma circular), luego se cortan uno por uno y su tamaño real es pequeñísimo. Para facilitar su manipulación y la conexión en los diferentes circuitos, éstos se “encapsulan” o empaquetan con diferentes formas y tamaños dependiendo principalmente de la potencia manejada. La cápsula aísla el transistor del ambiente (humedad y contaminación), sirve como disipador de calor,

Silicon Transistor Selector Guide
(Listed in order of package and V_{CB0} Rating, $*T_C=+25^\circ C$)

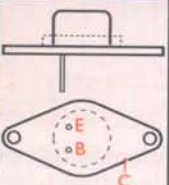
NTE Type Number		Application	Maxium Breakdown Voltage (Volts)		Maxium Collector Current (Amps)	Maxium Collector Dissipation (Watts)	Typical Forward Current Gain	Typical Freq. (MHz)	Package Style
NPN	PNP		V_{CB0}	V_{CE0}	I_C	P_D	h_{FE}	f_T	
274	275	Darlington Pw Amp Sw	80	80	4	50	3000	-	 TO-66
-	218	Audio Pwr Output	90	80	4	25	30 min.	4 min.	
124	-	High Vltg. Gen Pwp	325	300	1	20*	40 min.	10 min.	

Figura 10.8. Características de un transistor


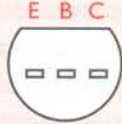

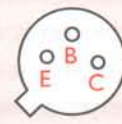

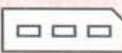

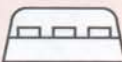

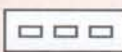
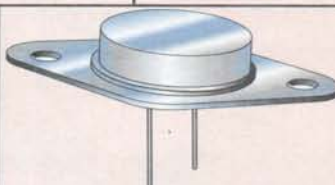

NOMBRE	FORMA EXTERNA	VISTA INFERIOR
TO-92		
TO-5		
TO-202		
TO-220		
TO-3P		
TO-3		

Figura 10.9. Principales encapsulados para los transistores

NOTA: En todos los encapsulados la disposición de los terminales (base, emisor y colector) varía de un transistor a otro, o sea que no siempre están en la misma posición. Por lo tanto, se debe consultar el manual del fabricante o un manual de reemplazos. Esta disposición se muestra muchas veces con una figura como éstas incluida en los diagramas esquemáticos y en la cual se indica cuál es cada uno de ellos.

como soporte de los terminales, para fijarlos, etc. En cuanto al material de la cápsula los hay de plástico o de metal. La forma de los encapsulados está normalizada por una organización llamada JEDEC (*Joint Electron Device Engineering Council*) y los principales se muestran en la **figura 10.9**

Identificación de los transistores

Los transistores, como los diodos y otros semiconductores, se identifican con referencias que se imprimen sobre el encapsulado, formadas por letras y números de acuerdo a tres sistemas principales: el americano, el japonés y el europeo. El sistema americano, establecido por el JEDEC, asigna para los transistores el número 2 seguido por la letra N y luego un número entre 100 y 9999. En algunos casos se agrega una letra que indica la ganancia así: A para baja ganancia, B para ganancia media y C para alta ganancia. Ejemplos: 2N2222A, 2N3904, 2N3055, etc.

En el sistema japonés, establecido por el JIS (*Japan Industrial Standard*) se identifican con el número 2, luego la letra S, luego otra letra (A, B, C y D) según el tipo y la frecuencia de trabajo, y, por último, varios números entre 10 y 9999. Por ejemplo 2SA1187, 2SB646 y 2SC733. Muchos fabricantes no utilizan el 2S y solo los marcan como A1187, B646 y C733.

El sistema europeo utiliza primero las letras A ó B, si el material es germanio o silicio, luego otra letra (C, D, F, L y U) según la potencia y la frecuencia, después otra letra (W, X, Y y Z) según el uso, y, por último, varios números entre 100 y 9999. Ejemplos: BC108, BAW68, BF239 y BFY51.

Además de estos sistemas de identificación algunos fabricantes tienen sus propios sistemas de numeración para hacer énfasis en su marca, como los sufijos de Motorola MJ, MJE, MPS y MRF seguidos de varios números, por ejemplo el MJE1002, etc. Texas Instruments tiene su sistema utilizando las letras TIP, TIPL o TIPS (Por ejemplo TIP31, TIP32, etc.).

Otras empresas de semiconductores marcan sus productos con referencias propias, solicitadas por los fabricantes de los equipos en donde éstos se utilizan,

con el fin de ordenar sus sistemas de producción o de evitar la copia de sus productos. Es por éso que algunas veces se encuentran transistores cuya referencia no está en ningún manual de los fabricantes o en los manuales de reemplazos.

Prueba de los transistores bipolares con un multímetro análogo

Como un transistor está formado por dos diodos, se puede utilizar la prueba anterior explicada para éstos con el fin de determinar el buen estado de un transistor bipolar NPN o PNP. Con esta prueba también es posible identificar los terminales del transistor (base, emisor y colector) cuando no se conoce su posición, algo muy útil cuando estamos ensamblando algún circuito; también se puede determinar si el transistor es NPN o PNP.

Es muy importante antes de hacer las pruebas de este tipo, determinar la polaridad de las puntas de prueba del multímetro. Esto quiere decir que, aunque el instrumento tenga su punta de prueba negativa y positiva, en algunos modelos es diferente el sentido en el cual circula la corriente. Para establecer esta polaridad, se debe tomar un transistor con la referencia conocida, por ejemplo un 2N3904, que es NPN y determinar con cuales posiciones de las puntas de prueba produce las medidas que vamos a mencionar. Coloque ahora la punta roja en la base y mida la conducción con el emisor y el colector; no debe marcar ningún valor. Por último, mida la conducción entre el emisor y el colector, primero con las puntas de prueba en una posición y luego invirtiéndolas; en esta ocasión no debe marcar ningún valor. **Figura 10.10**

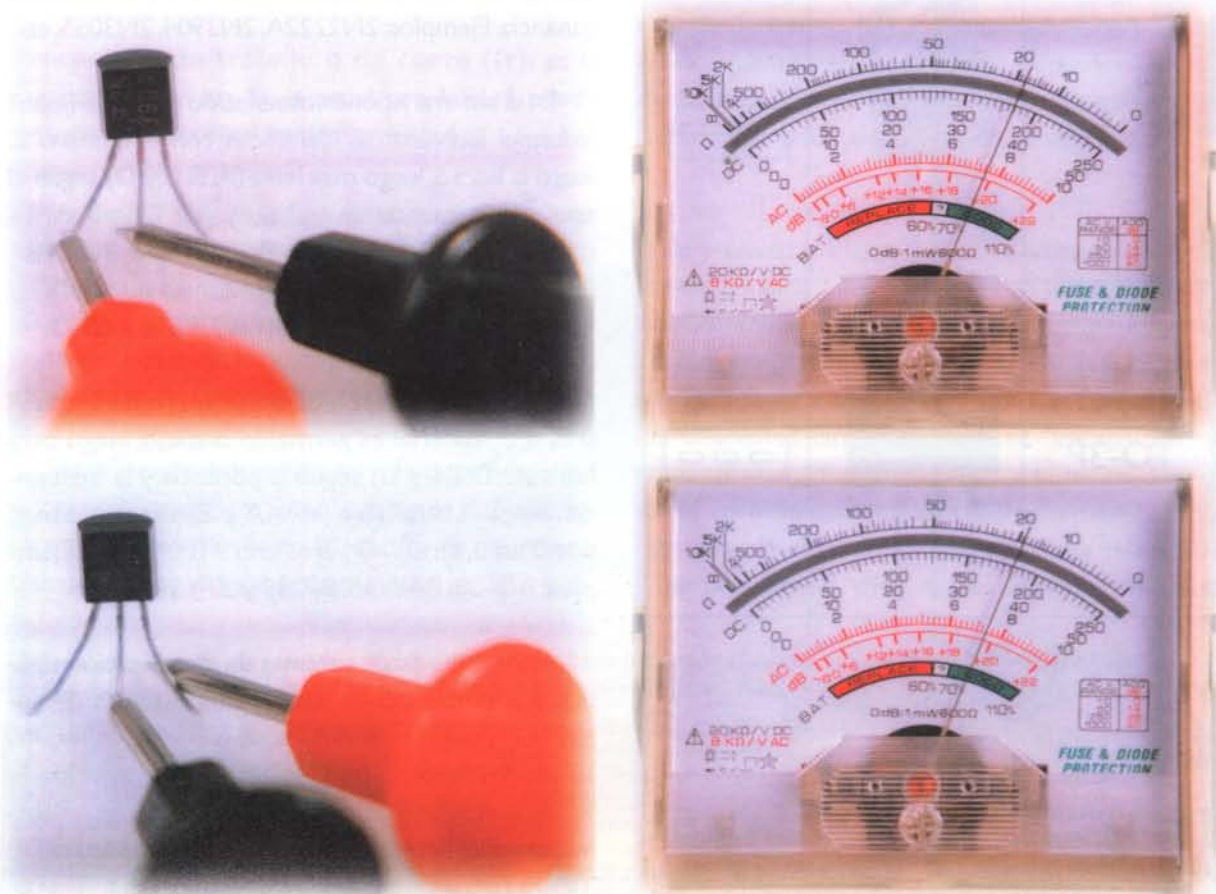


Figura 10.10. Prueba de un transistor NPN. Con la perilla selectora ubicada en la posición Rx1, o en la más baja disponible, coloque la punta de prueba negativa (negra) en la base del transistor (terminal central visto de frente) y la punta positiva (roja) en el emisor (terminal de la izquierda); en este momento la aguja debe mostrar una resistencia baja. Pase ahora la punta roja al colector (terminal derecho), la aguja debe mostrar una medida similar. Coloque ahora la punta roja en la base y toque con la punta negra el emisor y el colector. No debe mostrar ningún valor.

La prueba de un transistor PNP, un 2N3906 por ejemplo, se hace de la misma forma pero con la polaridad invertida, es decir, en el primer paso se conecta en la base la punta de prueba positiva (roja) y con la punta negativa (negra) se tocan el emisor y el colector. Como en el NPN, la aguja debe marcar un bajo valor en ohmios en los dos casos. Luego, invirtiendo las puntas de prueba y repitiendo la operación, no debe marcar ningún valor. En este caso, la prueba de conducción entre emisor y colector es la misma que en el transistor NPN.

Si nunca ha hecho este tipo de pruebas y tiene su multímetro análogo y los dos tipos de transistores a la mano (cualquier NPN y PNP conocidos), practique despacio cada uno de los pasos descritos hasta que los pueda hacer rápidamente y de memoria. Esto le servirá siempre en el trabajo en electrónica, ya sea en el ensamblaje de proyectos o en la reparación de todo tipo de aparatos.

Prueba de los transistores bipolares con un multímetro digital

Ésta se hace utilizando el mismo procedimiento que se describió para los diodos, midiendo las uniones base-colector y base emisor. Si el transistor es NPN (por ejemplo un 2N3904), se coloca la punta roja en la base y con la punta negra se tocan el colector y el emisor observando la medida mostrada en cada caso. Ésta debe ser, como en los diodos, de $0,7\Omega$ aproximadamente si la unión está bien. Si marca un valor bajo, igual o cercano a 0Ω , hay un "cortocircuito" o si no marca nada, el transistor está "abierto".

También se debe hacer la prueba entre colector y emisor, en la cual no debe marcar ninguna lectura; esta prueba se debe hacer con las puntas de prueba colocadas en ambos sentidos. Para los transistores PNP se invierte la punta que se conecta en la base, en este caso se coloca la punta negra en ella y se hacen las mismas pruebas descritas en el párrafo anterior. Este procedimiento es similar al que se describió en el multímetro análogo. Algunos multímetros digitales tienen la opción para hacer la prueba directa de transistores, para lo cual cuentan con una base o socket en don-

de se insertan sus tres terminales dependiendo de su tipo (NPN o PNP), e indicando en la pantalla el valor de su ganancia (*beta* o *hfe*). La perilla selectora se ubica en el sitio marcado *hfe* figura 10.11.

Los transistores de efecto de campo o FET (Field Effect Transistors)

Como ya vimos en la figura 10.3, el otro gran grupo de transistores es aquel formado por los transistores de efecto de campo o FET, los cuales, a su vez, se dividen en dos grupos: los JFET (Junction FET) o FET de juntura y los MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) o FET de semiconductor de óxido metálico, el cual se menciona a veces simplemente como MOS refiriéndose a esta tecnología de fabricación.

Los FET se parecen en muchos aspectos a los transistores bipolares, pero tienen otras caracte-

Figura 10.11. Prueba directa de transistores con un multímetro digital.



rísticas que los hacen más eficientes en ciertos tipos de circuitos tal como lo veremos más adelante y en la sección de **Teoría** de este curso.

Breve historia

Los principios básicos de los FET fueron enunciados por el científico alemán Julius Edgar Lilienfeld en una patente del año 1926, pero en esa época no se logró fabricar el dispositivo como tal y que funcionara efectivamente. En 1952, William Shockley, uno de los inventores del transistor bipolar, desarrolló la teoría de los transistores de efecto de campo de juntura y en 1955 se fabricó el primero de estos dispositivos en los laboratorios Bell; solo hasta los años 60 se fabricaron en serie. Los MOSFET se desarrollaron también en 1960 por los científicos Khan y Atatta de Hitachi en Japón. Uno de los aspectos más importantes de esta tecnología es haber permitido el gran desarrollo de los circuitos integrados ya que la mayoría de ellos se fabrican con transistores tipo MOS, debido al poco espacio que ocupan y al bajo consumo de corriente.

Estructura básica

En general, e independientemente de su tecnología de fabricación, los FET (JFET y MOSFET) tienen tres terminales que reciben los nombres de fuente, drenador o sumidero y compuerta, derivados de los nombres originales en inglés *source* (S), *drain* (D) y *gate* (G). Por esto, los terminales se marcan en los diagramas como S, D y G. Los encapsulados más utilizados para los FET son los mismos que los de los transistores bipolares, por lo que estos se diferencian entre sí solamente por su referencia, la cual está marcada en su cuerpo.

Transistores tipo JFET

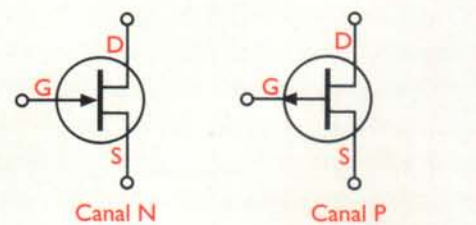
Se fabrican con un material semiconductor de base N o P llamado **sustrato** dentro del cual se forma una región de material con polaridad opuesta en forma de U llamada **canal**, ligeramente dopada. El sustrato actúa como compuerta (*gate* o G), uno de los extremos del canal como fuente (*source* o S) y el otro como drenador (*drain* o D). Por tanto, entre la compuerta y el canal se forma una juntura

o unión PN. De acuerdo al material del canal hay JFET de canal N y de canal P. En los de canal P, los portadores mayoritarios que circulan por el canal son huecos y en los de canal N los portadores que circulan por el canal son electrones. En la **figura 10.12** se muestran los símbolos utilizados en los diagramas para los diferentes tipos de JFET y su estructura interna simplificada.

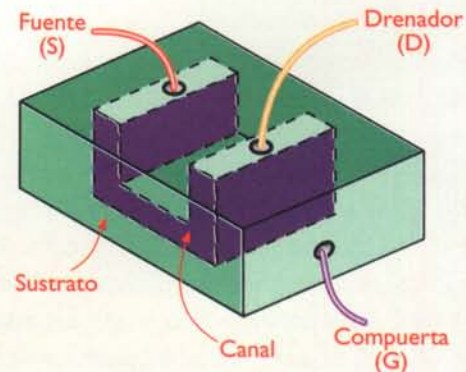
Polarización y funcionamiento de los JFET

Para operar correctamente, los JFET necesitan ser polarizados mediante dos tensiones externas, como se indica en la **figura 10.13**. La tensión V_{DD} dirige el paso de los portadores de corriente por el canal y la tensión V_{GS} regula su cantidad. Esta última debe polarizar inversamente la unión PN entre el canal y el sustrato. Por tanto, en un JFET de canal N la fuente debe ser positiva con respecto a la compuerta y negativa con respecto al drenador.

El efecto neto de la polarización es la creación, entre drenador y fuente, de una **corriente de drenaje** (I_D), la cual circula a lo largo del canal y depende del voltaje V_{GS} . Por tanto, el canal actúa como una resistencia variable. En el caso de un JFET de



a) Símbolos



b) Estructura interna simplificada

Figura 10.12. Transistores JFET

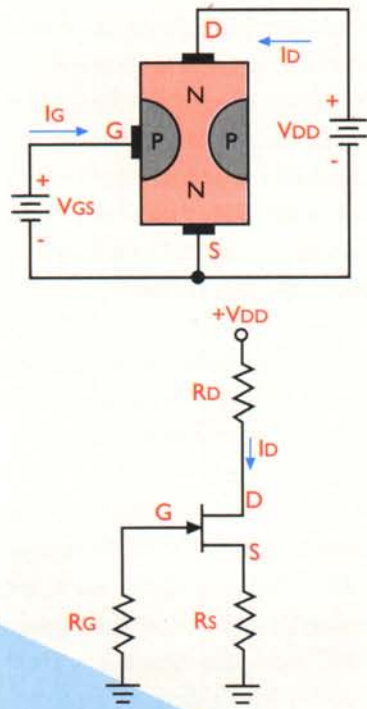


Figura 10.13. Polarización de un JFET

canal N, el voltaje V_{GS} crea, en las proximidades de la unión sustrato-canal, una **zona de agotamiento** libre de electrones. Esta región se forma por completo dentro del canal debido a que existe una fuerte concentración de huecos en el sustrato y una baja concentración de electrones en el canal.

El espesor de la zona de agotamiento determina el área útil o efectiva del canal, y, por lo tanto, su capacidad de dejar pasar más o menos electrones. La región de agotamiento se extiende a lo largo de las paredes del canal, siendo más amplia en el lado del drenador que en el de la fuente. Esto es así porque, desde el punto de vista de la compuerta, el drenador está sometido a un voltaje de polarización inverso más alto ($V_{DS} + V_{GS}$) que la fuente (V_{GS}).

Al aumentar el voltaje V_{GS} , la región de agotamiento se ensancha, y, por lo tanto, se estrecha el canal. En consecuencia, pasan menos electrones entre la fuente y el drenador, disminuyéndose así la I_D . Al disminuir el voltaje V_{GS} , la región de agotamiento se estrecha y, por tanto, se amplía el canal. En consecuencia, pasan más electrones entre la

fuente y el drenador, aumentándose así la I_D . De este modo, el voltaje V_{GS} varía la resistencia del canal y controla o "modula" la corriente I_D . En ambos casos, la corriente de compuerta (I_G) es insignificante, lo cual implica que la resistencia de entrada de un FET es extremadamente alta.

La capacidad de amplificación de un FET se mide observando el efecto del voltaje V_{GS} sobre la I_D para un determinado valor de V_{DS} . La relación incremental entre ambas cantidades se denomina **transconductancia** y se designa por el símbolo **g_m o g_{fs}** . Esto es:

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

La transconductancia se expresa en mhos o siemens (S). Por ejemplo, si $g_m = 5.000 \mu\text{mhos}$ (valor típico), un cambio de 200 mV en el voltaje V_{GS} provoca un cambio de $100 \mu\text{A}$ en la I_D .

Transistores tipo MOSFET

Los **MOSFET** (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors*) o **MOS**, son FET en los cuales la compuerta está eléctricamente aislada del canal mediante una fina capa de dióxido de silicio (SiO_2), la cual le confiere unas características muy especiales; por ejemplo, una impedancia de entrada muy alta. También hay MOSFET de canal N y de canal P. Los circuitos con MOSFET son altamente inmunes al ruido, consumen muy poca potencia y son muy flexibles. Además, se prestan a la integración en gran escala. Hay dos tipos de MOSFET: los de agotamiento, también llamados de empobrecimiento o depleción (*depletion MOSFET*) y los de enriquecimiento o acumulación (*enhancement MOSFET*). En la **figura 10.14** se muestran los símbolos utilizados en los diagramas para los diferentes tipos de MOSFET y su estructura interna simplificada.

Estructura básica y funcionamiento de los MOSFET

En un MOSFET el canal se forma dentro del sustrato, pero, a diferencia de un JFET, este último está conectado eléctricamente a la fuente y no a la com-

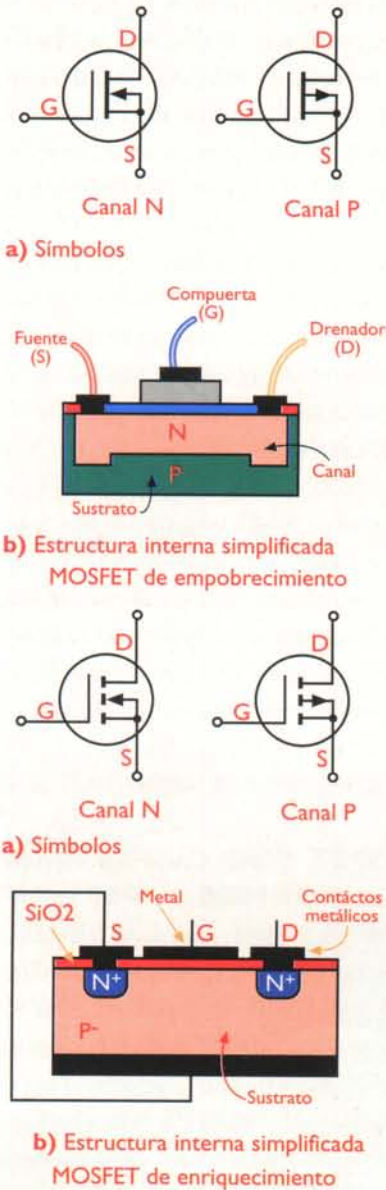


Figura 10.14. Transistores MOSFET

puerta. Aunque la compuerta y el canal ya no forman una unión PN, la compuerta sigue siendo el terminal que controla la conductividad del canal. El voltaje V_{GS} puede ser positivo o negativo y controla la concentración de portadores de corriente en el canal. Si el drenador es positivo con respecto a la fuente y el voltaje V_{GS} es 0, fluye una corriente de drenaje a través del canal.

En el caso de un MOSFET de canal N, cuando el voltaje V_{GS} se hace negativo, los electrones del canal son atraídos por los huecos del sustrato, reduciéndose así la concentración de portadores de corriente dentro del canal. En consecuencia, aumenta la resistencia del canal y se reduce la corriente de drenaje. Se dice, entonces, que el MOSFET está operando en el **modo de agotamiento**.

Cuando el voltaje V_{GS} se hace positivo, los electrones del canal son rechazados por los huecos del sustrato, aumentándose así la concentración de portadores de corriente dentro del canal. En consecuencia, disminuye la resistencia del canal y aumenta la corriente de drenaje. Se dice, entonces, que el MOSFET está operando en el **modo de enriquecimiento**. Este modo de operación no existe en el FET de unión.

Identificación y especificaciones

Los FET (JFET y MOSFET) se identifican de la misma forma que los transistores bipolares, por medio de una referencia, y se especifican principalmente por su transconductancia (g_m o g_{fs}), el voltaje máximo entre compuerta y fuente (V_{GS}), la corriente de drenaje con $V_{GS}=0V$ (I_{DSS}), el voltaje de ruptura entre compuerta y fuente (BV_{GSS}) y la máxima corriente de drenaje (I_D). Otros parámetros, que especifican los fabricantes de los FET en las hojas de datos de sus productos, son la capacidad de entrada (C_{iss}), la capacidad de transferencia (C_{rss}), la potencia máxima (P_T) y la resistencia máxima entre drenador y fuente (r_{DSS}). En la **figura 10.15** se muestran las características de un FET muy común, el 2N3819.

Transistor FET 2N3819		Canal N
V_{DS}	+25V	Voltaje máximo drenador- fuente
V_{DG}	+25V	Voltaje máximo drenador- compuerta
V_{GS}	-25V	Voltaje máximo compuerta- fuente
V_P	-8V max	Voltaje compuerta- fuente para el corte I_d
I_{DSS}	2-20mA	Corriente drenador- fuente con $V_{ef}=0$
I_{GSS}	-2nA max	Corriente de fugas a 25°C
I_G	10mA	Máxima corriente de compuerta
g_m	2 a 6,5	Transconductancia en mmhos en fuente común
C_{iss}	8pF max	Capacidad de entrada en fuente común
P_T	200mW	Máxima disipación al aire libre
f_r	100MHz	Máxima frecuencia de trabajo

TO-92

Figura 10.15. Tabla de características de un FET

Otros tipos de transistores

Además de los transistores bipolares y los FET, hay otros tipos de transistores no tan utilizados, pero no por ello menos importantes en la electrónica debido a sus usos especiales en cierto tipo de circuitos.

Transistores UJT (Unijunction Transistor)

Este tipo, llamados transistores monojuntura o unijuntura, como su nombre lo indica, tienen una sola unión PN. Están conformados por un material tipo N que incluye una conexión no rectificadora en cada uno de sus extremos; estas conexiones reciben el nombre de Base 1 (B1) y Base 2 (B2). El tercer terminal es una juntura rectificadora PN situada en un punto intermedio del material N, el cual recibe el nombre de emisor (E). Dependiendo del tipo de material principal hay UJT tipo N y tipo P, pero en la práctica los más utilizados son los del tipo N. En la **figura 10.16** se muestran el símbolo, la estructura interna, el circuito equivalente y el aspecto físico de uno de los transistores UJT tipo N más conocidos, el 2N2646.

El funcionamiento de los UJT es muy diferente al de los transistores bipolares y los FET. Como el material que conforma el cuerpo principal tiene una resistencia determinada (generalmente comprendida entre 4.000 y 12.000 Ω) llamada R_{BB} , y el emisor que forma la unión PN está conectado en un punto

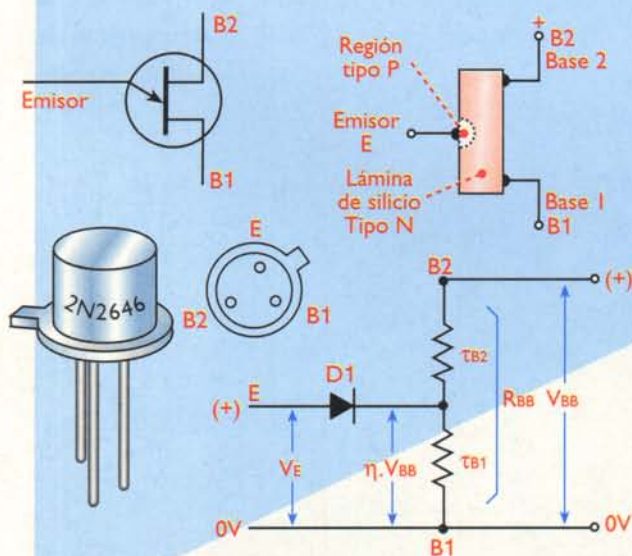


Figura 10.16. Símbolo, estructura interna, circuito equivalente y aspecto físico de un UJT tipo N

Características del transistor de unión única tipo 2N2646	
Tensión inversa de emisor (máxima)	= 30V
V_{BB} (máxima)	= 35V
Corriente de pico de emisor (máxima)	= 2A
Corriente eficaz de emisor (máxima)	= 50mA
Disipación máxima	= 300mW
η	= 0,56 - 0,75
R_{BB}	= 4,7 - 9,1K Ω
I_p (máxima)	= 5 μ A
I_v	= 4mA
Cápsula	= TO-18

Figura 10.17. Características eléctricas de un UJT tipo N Ref. 2N2646

intermedio de esta resistencia, una parte del voltaje aplicado a la Base 2 (B2) aparece entre la juntura PN y la Base 1 (B1). Este voltaje es el parámetro más importante del UJT y se le ha llamado «relación intrínseca»; se representa con la letra griega η y su valor típico se puede encontrar entre 0,45 y 0,8. En la **figura 10.17** se muestran las demás características eléctricas de un UJT (2N2646).

El comportamiento del UJT es similar al de un diodo Zener, pero se le puede variar el voltaje de avalancha con sólo modificar las condiciones eléctricas en el terminal Base 2. El efecto Zener se presenta normalmente entre los terminales Emisor y Base 1, a través de los cuales se establece un paso súbito de corriente cuando la tensión eléctrica entre éstos alcanza el punto de avalancha. Aprovechando esta característica, los UJT se utilizan principalmente como generadores de pulsos u osciladores de relajación, su circuito básico se muestra en la **figura 10.18**. La carga del condensador a través de la resistencia R y la descarga a través de la unión PN y la resistencia E-B1, se utiliza para generar impulsos de corriente a intervalos regulares y usualmente ajustables, lo cual lo convierte en un circuito muy sencillo y apropiado para el disparo de tiristores, como oscilador, o como temporizador.

Los transistores IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor)

Estos dispositivos, cuyo nombre se puede traducir

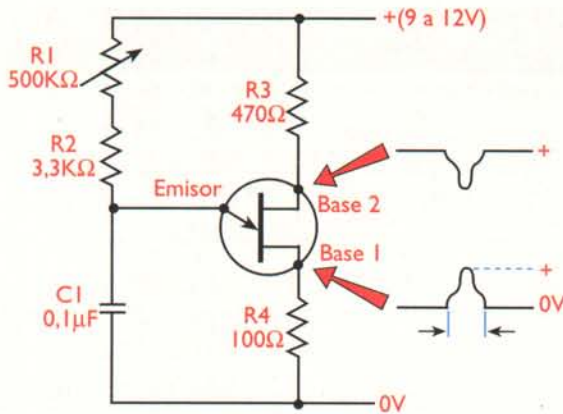


Figura 10.18. Circuito básico de un UJT como generador de pulsos

como transistor bipolar de compuerta aislada, son la combinación de un transistor bipolar y un FET, ya que en la entrada se comportan como un FET de compuerta aislada y en la salida como un transistor bipolar de potencia. Esta combinación les brinda muy buenas características como interruptores de potencia, reemplazando otros semiconductores como los MOSFET de potencia y los tiristores o elementos electromecánicos, tales como los relés, o los contactores, los cuales sufren desgaste mecánico.

Los IGBT son muy similares en su estructura física a los MOSFET de potencia, pero se asemejan más a los transistores bipolares en su operación eléctrica. En la figura 10.19 se muestran los símbolos utilizados para su representación. Dependiendo de su polaridad, existen IGBT NPN y PNP. Los primeros, son equivalentes a un transistor PNP manejado por un MOSFET de canal N y los segundos, a un transistor NPN manejado por un MOSFET de canal P. La mayor parte de los IGBT disponibles comercialmente son dispositivos NPN o de canal N.

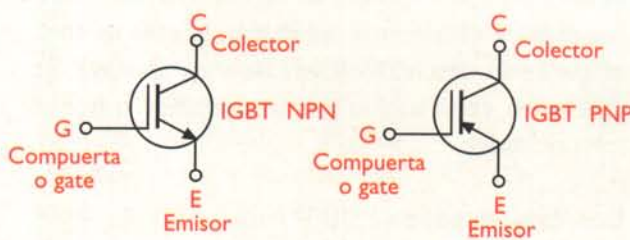


Figura 10.19. Símbolos para los IGBT

Los IGBT se clasifican de acuerdo a su velocidad en: **lentos**, **rápidos** y **ultra-rápidos**, cada uno optimizado para operar en una gama de frecuencias específica. Los IGBT lentos o de velocidad estándar, por ejemplo el **IRGBC30S** (600V/35A) de International Rectifier, trabajan desde CC (o hertz) hasta ≈ 1 kHz. Se caracterizan por su baja caída de voltaje en estado de saturación. Se utilizan principalmente en sistemas de potencia ininterrumpida (UPS), circuitos de control de motores, estabilizadores de voltaje y otras aplicaciones prácticas a nivel de frecuencia de línea.

Para comprender cómo opera un IGBT, consideremos el circuito equivalente NPN de la figura 10.20. En condiciones normales, con un voltaje de compuerta $V_{GE}=0$, entre colector y emisor circula una corriente de fuga (I_{CES}) muy débil y el IGBT está esencialmente bloqueado. A medida que aumenta el voltaje positivo de compuerta, llega un momento en el cual se supera un valor umbral ($V_{GE(th)}$) y el dispositivo entra en conducción, permitiendo la circulación de una corriente de colector (I_c).

A partir de entonces, una pequeña variación ΔV_G del voltaje de compuerta, por ejemplo 0,5V, provoca una gran variación ΔI_c de la corriente de colector, digamos 10A. La relación incremental entre la corriente de colector y el voltaje de compuerta de un IGBT define la **transconductancia** (g_{fe}), en Siemens (S), del dispositivo. Esto es:

$$\text{Transconductancia} = g_{fe} = \frac{\Delta I_c}{\Delta V_G}$$

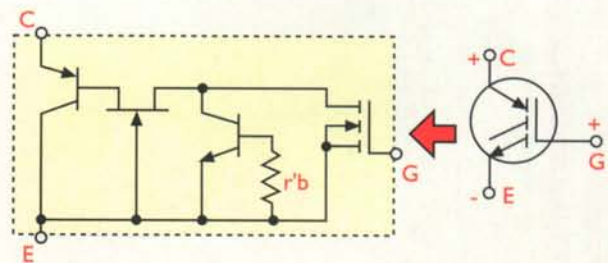


Figura 10.20. Circuito equivalente NPN de un IGBT

Lección II

Los tiristores

Además de los transistores, hay otro grupo muy importante de semiconductores llamados **tiristores**, los cuales se emplean principalmente como interruptores electrónicos. A su vez, dentro de los tiristores hay varios tipos siendo los principales los SCR y los triac; y otros, no tan utilizados como los diac, y los GTO. Estos dispositivos han ido reemplazando, con más eficiencia, confiabilidad y duración en todo tipo de tareas, a los interruptores electromecánicos tales como los relés y los contactores cuyas partes mecánicas se van desgastando con el uso.



Los tiristores, en general, son dispositivos semiconductores, igual que los diodos y los transistores, formados por cuatro o más capas alternadas de materiales tipo N y P que producen, por retroalimentación interna, un efecto de enganche o enclavamiento (*latching*), el cual los hace extremadamente útiles en tareas de conmutación y de control de potencia donde se emplean como interruptores en estado sólido, a diferencia de los transistores bipolares y de los FET que trabajan principalmente como amplificadores de señal.

Los tiristores son interruptores muy eficientes. Comparados con un interruptor electromecánico un tiristor tiene una vida de servicio muy larga, puede operar a muy altas velocidades, no genera chispas, trabaja silenciosamente, es insensible a la gravedad y a las vibraciones. Además, una vez disparado, su resistencia de conducción es muy baja.

Breve historia

Uno de los primeros tiristores fabricados en serie, alrededor del año 1960, se produjo en la división de productos semiconductores de la General Electric. Tenía como referencia la ZJ-39A y podía manejar hasta 16 amperios, desde 25 hasta 400 voltios y estaba destinado a reemplazar los tubos de disparo de gas llamados *tiratrones* (*thyatron*).

Tipos de tiristores

Los dos principales tipos de tiristores son: el rectificador controlado de silicio o SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) y el triodo de corriente alterna o triac,

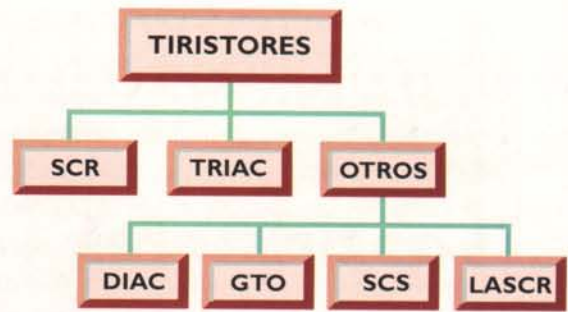


Figura 11.1. Tipos de tiristores

cuyas características se explican más adelante. También se dispone de tiristores para tareas especiales como los diac, los GTO, los SCS, los LASCR, etc., figura 11.1

Los rectificadores controlados de silicio (SCR - Silicon Controlled Rectifier)

El **SCR**, como su nombre lo indica, es un diodo rectificador conformado por cuatro capas de material semiconductor y tres uniones PN que, además de un **ánodo** (A) y un **catodo** (C ó K), posee un terminal extra para fines de control llamado **compuerta** o **gate** (G). En la **figura 11.2** se muestran su símbolo, su estructura interna, su circuito equivalente con transistores y algunos de los encapsulados más comunes con los cuales se fabrican.

Funcionamiento del SCR

Los SCR son esencialmente diodos rectificadores y se comportan de la misma forma, excepto que, cuando están directamente polarizados, requieren la aplicación de una corriente en la compuerta (IG) para realizar su acción básica. En otras palabras, deben ser **disparados** por una señal de control.

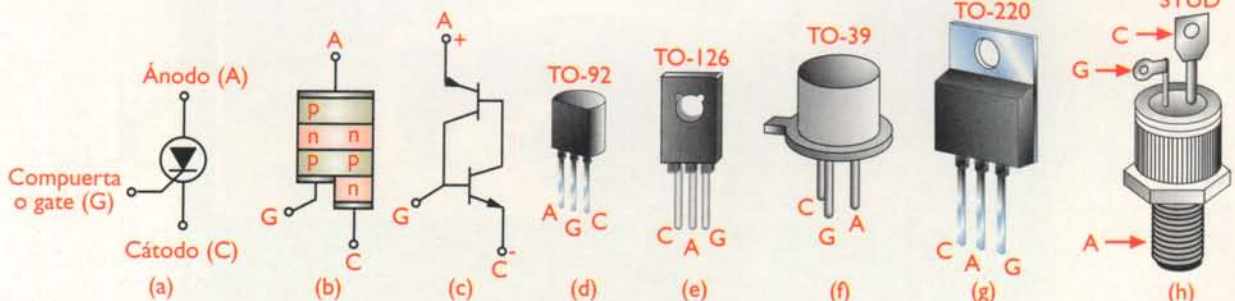


Figura 11.2. Símbolo, estructura interna, circuito equivalente y encapsulados más comunes para los SCR

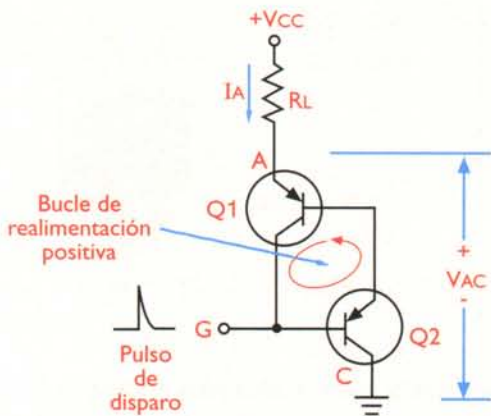


Figura 11.3. Circuito básico del cerrojo

Una vez disparado, un SCR entra en conducción, comportándose como un interruptor cerrado. Bajo esta condición, la compuerta deja de tener control sobre el estado del dispositivo y la única forma de bloquearlo es interrumpiendo la corriente de ánodo (I_A) o reduciéndola por debajo de un valor mínimo llamado **corriente de sostenimiento** (I_H).

Los SCR pueden también entrar en conducción con una corriente de compuerta cero ($I_G=0$), estando directa o inversamente polarizados, cuando el voltaje entre el ánodo y el cátodo (V_{AC}) es superior a un valor crítico V_{DRM} (directo) o V_{RRM} (inverso), respectivamente, llamado **voltaje de ruptura**. También puede haber conducción con $I_G=0$ cuando la velocidad de cambio de V_{AC} (dv/dt) es superior a la especificada. Estos métodos de disparo no se utilizan en la práctica y deben evitarse.

Su funcionamiento general se puede explicar en términos del circuito equivalente de transistores, mostrado en la **figura 11.3**, llamado un **cerrojo** o *latch* ideal. Esta disposición se caracteriza por ser regenerativa, es decir, por proporcionar una retroalimentación positiva que mantiene al dispositivo enganchado (conduciendo), o desenganchado (bloqueado) cuando se produce un aumento o una disminución en la corriente en cualquier punto del lazo.

Curvas características de un SCR

El comportamiento general de un SCR se puede representar gráficamente mediante una familia de curvas características, cada una asociada a una corriente

de compuerta (I_G) en particular, como se muestra en la **figura 11.4**. Sobre el eje vertical se indica la corriente de ánodo (I_A) y sobre el eje horizontal el voltaje entre ánodo y cátodo (V_{AC}). En cada curva característica se pueden distinguir las siguientes regiones:

1. Región de bloqueo directo. Se refiere a las condiciones de corriente y voltaje sobre el dispositivo en estado de bloqueo directo, es decir, con el ánodo positivo respecto al cátodo y sin corriente de compuerta aplicada.

2. Región de encendido. Se refiere a las condiciones de corriente y voltaje sobre el dispositivo en condiciones de disparo, es decir, después de aplicar una corriente de compuerta ($I_G > 0$). Note que hay una región de resistencia negativa en la cual el V_{AC} disminuye rápidamente hasta estabilizarse en un valor muy bajo V_T , ligeramente superior a 0,6V.

3. Región de bloqueo inverso. Se refiere a las condiciones de corriente y voltaje sobre el dispositivo en estado de bloqueo inverso, es decir con el ánodo negativo respecto al cátodo y con o sin corriente de compuerta aplicada.

Identificación y especificaciones eléctricas

Como los demás semiconductores, los SCR se identifican por una referencia (C106, 2N6170, ECG5582, etc.) y se especifican principalmente por la máxima corriente de ánodo (I_{TRMS}), el voltaje de ruptura directo (V_{DRM}) y el voltaje de ruptura inverso (V_{RRM}). Se consiguen SCR con capacidades de co-

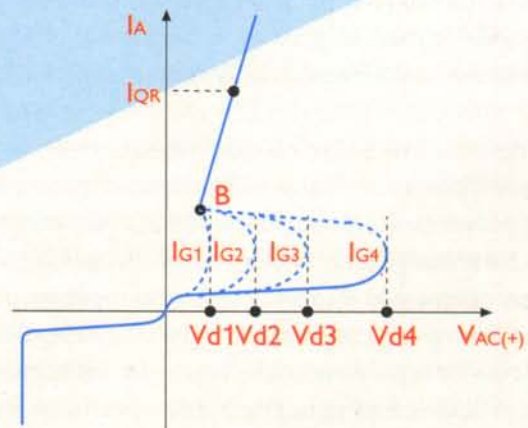


Figura 11.4. Curva característica de un SCR

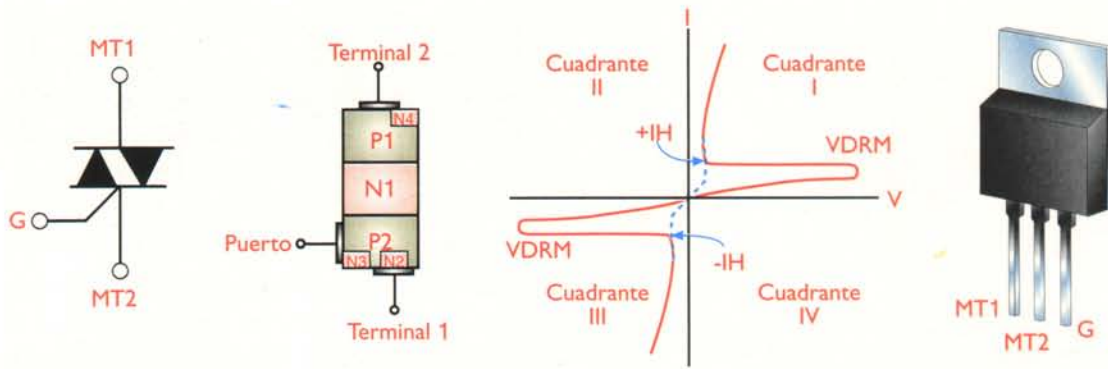


Figura 11.5. Símbolo, estructura interna, curva característica, asignación de terminales y uno de los encapsulados más utilizados para los triac (TO-220)

riente desde menos de 500 mA hasta más de 300 A, y con voltajes de ruptura desde menos de 25V hasta más de 2.000V. Para el C106A, por ejemplo, $I_{RMS}=4A$ y $V_{DRM} = V_{RRM} = 100V$.

Los triac

El triac es un tiristor PNP de cinco capas que puede conmutar corrientes de carga en ambas direcciones y ser disparado por señales de compuerta tanto positivas como negativas. Se utiliza principalmente para la conmutación de corriente alterna, aunque también puede emplearse para conmutar corriente continua.

En la **figura 11.5** se muestran el símbolo, la estructura, la curva característica, la asignación de terminales y uno de los encapsulados más utilizados para los triac. Note que posee cinco capas, cuatro uniones PN y tres electrodos o terminales. Estos últimos se denominan **terminal principal 1 (MT1)**, **terminal principal 2 (MT2)** y **compuerta (G)**. Las presentaciones más usuales vienen en cápsulas TO-92 (hasta 0,8A), TO-39 (1,6A), TO-126 (4A), TO-220 (40A) y soportes metálicos (55A o más). La gama de voltajes rms de trabajo se extiende desde menos de 5V hasta más de 1.500V.

Polarización y funcionamiento

Desde el punto de vista de su funcionamiento, un triac es equivalente a la asociación de dos SCR en antiparalelo. Sin embargo, al contrario de un SCR, un triac puede ser conmutado al estado conductivo mediante pulsos de compuerta positivos o negativos, independientemente de la polaridad del voltaje entre los terminales principales. Esta situación, que se muestra en la **figura 11.6**, origina cuatro modos o **cuadrantes** de

funcionamiento posibles, cada uno correspondiente a una combinación diferente de polaridades de los voltajes de compuerta y de los terminales principales.

Note que, con respecto a MT1, MT2 es positivo en los cuadrantes I y II, y negativo en los cuadrantes III y IV. Asimismo, observe que en los cuadrantes I y IV el triac se dispara con pulsos de compuerta positivos, y en los cuadrantes II y III con pulsos de compuerta negativos. La sensibilidad en uno u otro cuadrante depende de la estructura física del triac particular. Sin embargo, por regla general, la sensibilidad es más alta en los cuadrantes I y IV que en los otros dos. Por esta razón, los triacs deben ser trabajados preferiblemente en estos cuadrantes.

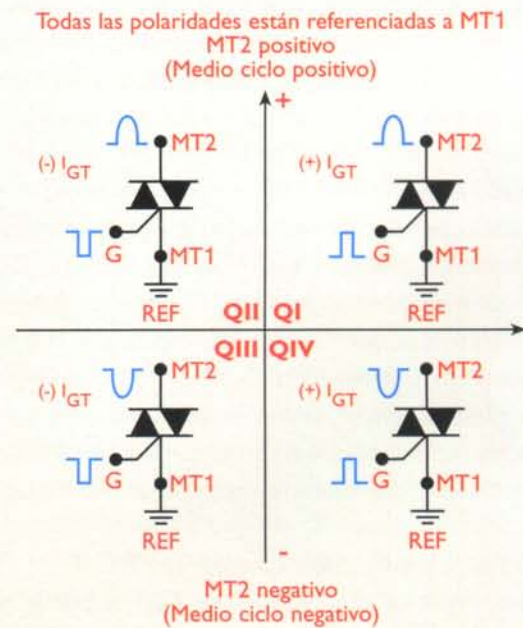


Figura 11.6. Polaridades de las señales de disparo en los triac (cuadrantes de trabajo)



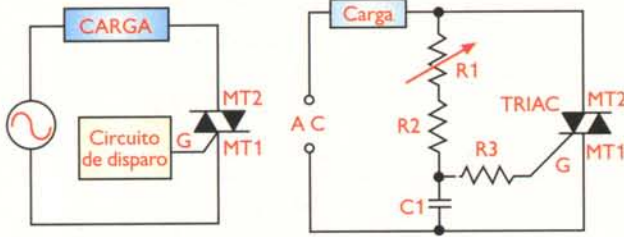


Figura 11.7. Circuito con triac para controlar la corriente en una carga de CA

De todos modos, una vez que un triac pasa a estado conductivo, la compuerta pierde control sobre el circuito de salida y el dispositivo permanecerá en ese estado hasta que la tensión entre sus terminales principales cambie de polaridad, es decir, pase por cero, o hasta que la corriente a través de los mismos sea inferior a su valor mínimo de sostenimiento (I_H). La mayoría de los triac de mediana potencia tienen corrientes de sostenimiento por debajo de 100mA.

En la figura 11.7 se muestra la forma básica de utilizar un triac para controlar el flujo de corriente promedio a través de una carga de CA. La corriente promedio entregada a la carga puede controlarse desde el circuito de disparo alterando la cantidad de tiempo por ciclo que el triac permanece en estado de conducción. Esta corriente puede ser pequeña o grande, dependiendo de si el triac permanece la mayor parte del tiempo bloqueado o conduciendo.

En la figura 11.8 se muestra una forma de onda típica del voltaje a través de la carga y el triac. La porción de cada semiciclo durante la cual el triac no conduce, comportándose como un interruptor abierto e impidiendo el flujo de corriente a través de la carga, se denomina **ángulo de retardo**, y la porción durante la cual conduce, comportándose como un

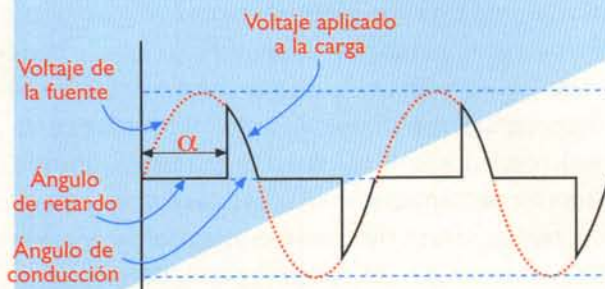


Figura 11.8. Forma de onda en un circuito con triac

interruptor cerrado y permitiendo la circulación de corriente, se llama **ángulo de conducción**. Entre mayor sea el ángulo de conducción, mayor es la corriente promedio suministrada a la carga, y viceversa.

Especificaciones eléctricas e identificación

Los triac se identifican básicamente por los mismos parámetros de los SCR, excepto que pueden conducir en ambas direcciones. El voltaje de compuerta necesario para disparar un triac se simboliza como V_{GT} y la corriente correspondiente como I_{GT} . Los triac de mediana potencia tienen un V_{GT} entre 0,6V y 2,0V, y una I_{GT} entre 0,1mA y 20mA.

Otras características eléctricas importantes de los triac son la corriente eficaz máxima permisible (I_{DRM}) y el voltaje de ruptura (V_{DRM}). Este último se refiere al voltaje más grande que el triac puede bloquear en cualquier dirección sin pasar al estado de conducción por avalanche. Para los triac de mediana potencia, los valores típicos de V_{DRM} son 100V, 200V, 400V y 600V, y los valores típicos de I_{TRM} son 1A, 3A, 6A, 10A, 15A y 25A.

Otro dato clave que proporcionan las hojas de datos es la caída de voltaje en conducción, identificada como V_{TM} . Idealmente, este voltaje debería ser igual a cero, pero en la práctica está típicamente entre 1V y 2V. Debido a que el producto $I_{TRM} \times V_{TM}$ determina la potencia disipada por el triac, siempre es deseable seleccionar los triac con un bajo V_{TM} .

La identificación se hace de la misma forma que en los semiconductores en general: por medio de letras y números cuya combinación depende de cada fabricante. Por ejemplo, la empresa Teccor, una de las más conocidas fabricantes de triac, tiene entre sus muchos productos las referencias Q4004L3, Q8006L4 y L601E8, entre otros.

Prueba de los triac

A los triac se les puede hacer una sencilla prueba utilizando un multímetro análogo o digital de la siguiente forma:

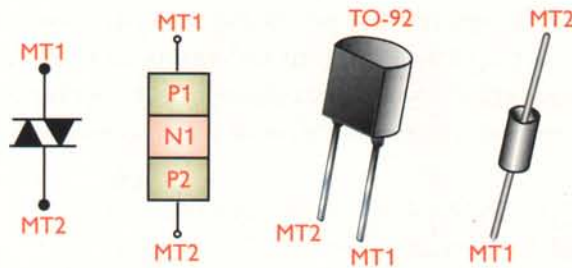


Figura 11.9. Símbolo, estructura y aspecto físico de un diac

1. Coloque el multímetro en la escala de más baja resistencia ($R \times 1$, $\times 10$, etc.). Mida la resistencia entre la compuerta (*gate*) y el terminal I (MT1), luego invierta las puntas de prueba entre los mismos terminales. En cada caso debe existir un valor entre 10 y 200 ohmios, dependiendo del triac. Si no es así, el triac está averiado.
2. Colocando la escala en el valor más alto de resistencia, mida el valor entre los dos terminales MT1 y MT2. Éste debe ser prácticamente infinito. Repita esta misma prueba entre los terminales MT2 y la compuerta. Si en alguno de éstos se presenta una lectura de pocos ohmios, el triac está en cortocircuito y por lo tanto no funciona.

Otros tipos de tiristores

Además del SCR y del triac, hay dos tipos de tiristores que se utilizan con cierta frecuencia y son los llamados diac y los GTO. Los **diac**, o diodos alternos de corriente, cuyo símbolo, estructura y aspecto físico se muestran en la **figura 11.9**, no son propiamente tiristores pero se les clasifica como tales debido a que su principal uso es como elemento de disparo de los triac, **figura 11.10**. Su estructura interna es similar a la de un transistor NPN con tres capas de material semiconductor. Su principal característica es que conduce en ambos sentidos cuando en sus terminales se alcan-

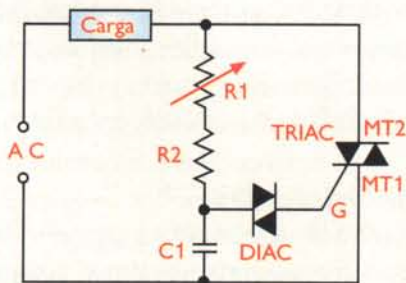


Figura 11.10. Circuito típico de aplicación práctica de un diac

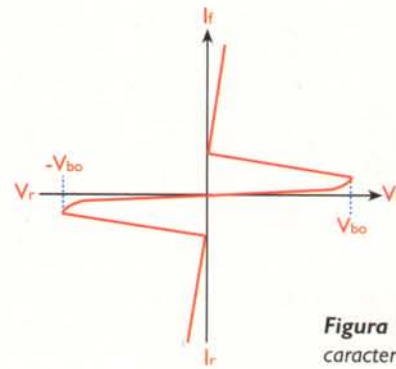


Figura 11.11. Curva característica de un diac

za un cierto valor de voltaje V_{BO} (*Voltage breakover point*) a partir del cual presenta una resistencia negativa tal como se puede ver en su curva característica, **figura 11.11**. Algunos triac incluyen el diac internamente y reciben el nombre de "Quadrac".

Los GTO (*Gate-turnoff switch*) o interruptores de apagado por compuerta son prácticamente tipos especiales de SCR en los cuales, la diferencia principal radica en la forma en la cual se desconectan. En los SCR y en los triac, es mucho más fácil activarlos o "cerrarlos" que desactivarlos, lo que puede ser inconveniente en algunos tipos de circuitos en los cuales el apagado rápido es necesario. En los GTO esto se logra aplicando una corriente inversa alta o pulso negativo en la compuerta lo que es posible debido a su fabricación interna. Sus principales aplicaciones están en los circuitos de control de potencia de altas prestaciones.

Hay otros tipos de tiristores no tan utilizados como el SCS (*Silicon controlled switch*) y el LASCR (*Light activated SCR*) los cuales no estudiaremos en este curso pero que el alumno puede investigar por su cuenta si así lo requiere.

Aplicaciones de los tiristores

En la práctica, los tiristores se utilizan en una gran variedad de tareas, tales como interruptores estáticos de CA o CC, controladores de motores (*drives*), reguladores de iluminación (*dimmers*), controladores de temperatura, convertidores de potencia, rectificadores controlados, inversores, sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), alarmas, fuentes de alimentación, cargadores de baterías, etc.

Cuando circula una corriente a través de un dispositivo o componente semiconductor, este último experimenta unas pérdidas de potencia que se transforman en calor y elevan su temperatura interna. Como lo vimos cuando estudiamos las características eléctricas de los diferentes semiconductores, éstos se pueden clasificar como de baja, media y alta potencia. Cuando se trata de dispositivos que manejan pequeñas señales, el calor producido no es demasiado elevado y puede ser fácilmente evacuado del dispositivo a través de su envoltura. En los de media y alta potencia, esta temperatura adquiere un valor tal, que si no se controla, destruye el componente.

Con el fin de evitar un calentamiento excesivo, y obtener el máximo rendimiento de potencia del dispositivo, el calor desarrollado debe ser rápidamente evacuado o transferido hacia el medio ambiente, lo cual se logra por medio de un elemento metálico llamado disipador de calor (*heatsink*) al cual está unido mecánicamente el componente semiconductor, **figura 12.1**

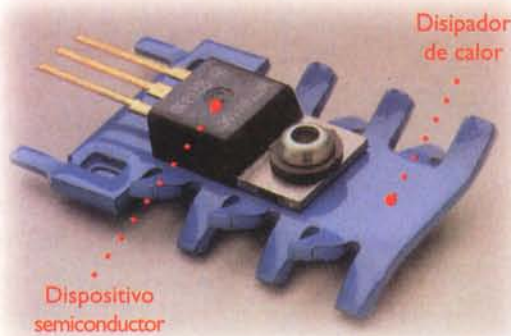


Figura 12.1. Aspecto físico y concepto básico de transferencia de calor en un semiconductor de potencia montado sobre un disipador de calor

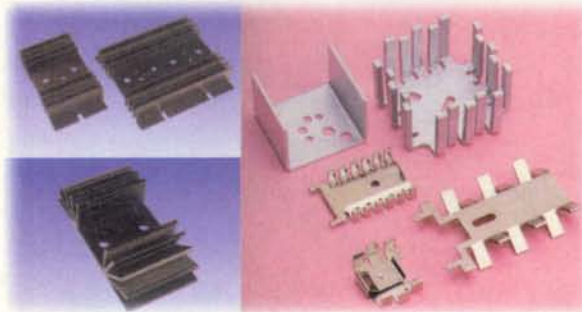


Figura 12.2. Diferentes tipos de disipadores de calor para semiconductores

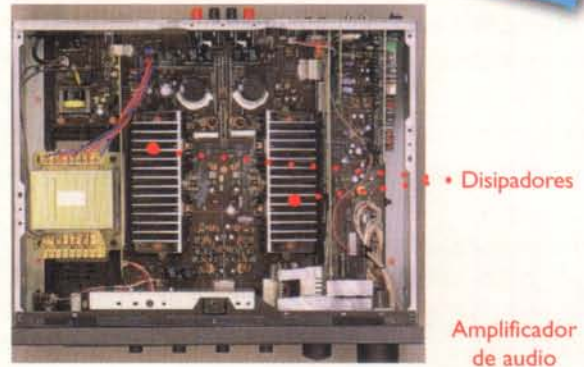


Figura 12.3. Algunos aparatos con disipadores de calor

Los disipadores se fabrican, en su gran mayoría con aluminio, debido a sus propiedades térmicas, y se encuentran de múltiples formas y tamaños tal como se puede apreciar en la **figura 12.2**. Su uso se extiende en todo tipo de aparatos siendo los principales los amplificadores de audio, los controles de potencia, y, ahora, en los microprocesadores de las computadoras, **figura 12.3**

Métodos de transferencia de calor

El calor desarrollado en un semiconductor se puede transferir al medio ambiente en tres formas básicas: por conducción, por radiación y por convección. La **conducción** consiste en transportar el calor desarrollado en el interior del cuerpo caliente hacia un disipador externo de gran superficie. La **convección** consiste en transportar el calor desarrollado a través de un fluido circundante; ésta transferencia puede ser natural o forzada. En la **convección natural**, el

cuerpo caliente entrega al fluido que lo rodea (aire) una determinada cantidad de calor, produciendo en el mismo una elevación de temperatura que hace variar su densidad. Como resultado, la parte caliente del fluido se desplaza hacia arriba, apareciendo una nueva porción de fluido fresco que sigue refrigerando al cuerpo. En la **convección forzada**, un agente externo, por ejemplo un ventilador, provoca la circulación de una determinada cantidad de fluido, acelerando así el proceso de evacuación de calor.

La **radiación** es una forma de transmisión de calor que se produce a través de las ondas electromagnéticas infrarrojas emitidas en forma natural por los cuerpos calientes. La eficiencia de este proceso depende del acabado mecánico y del color de las superficies tratadas, obteniéndose un mejor comportamiento con colores oscuros y terminados mates. Por esta razón, la mayoría de disipadores utilizados en los aparatos electrónicos son de color negro mate. (recordemos que los colores oscuros absorben el calor y los claros los reflejan).

Los disipadores emplean normalmente los tres mecanismos de transmisión de calor anteriores, **figura 12.4**. El calor desarrollado en el interior del semiconductor se transfiere inicialmente por conducción a todos los puntos del mismo y luego a la

superficie del disipador, donde se libera por convección y radiación. Por tanto, el tamaño, la forma, el color y el tipo de material utilizados para el disipador de calor tienen una incidencia directa en la cantidad de calor irradiado.

La habilidad de un material para conducir el calor, es decir, su conductividad térmica, depende de las características físicas del material y de su forma y dimensiones geométricas. La máxima cantidad de calor que puede transmitirse es aquella para la que se consigue una estabilización de temperatura en todos sus puntos. En relación inversa con la conductividad está la **resistencia térmica**, una medida de cuánto se opone el medio al flujo de calor. La resistencia térmica se mide en grados centígrados por vatio ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$).

Los semiconductores de potencia se fabrican con encapsulados metálicos robustos para proporcionar una buena superficie, a partir de la cual el calor generado por el dispositivo pueda ser irradiado. Aún así, al operar un semiconductor directamente al aire, se limitan severamente sus especificaciones de potencia.

Cuando se utiliza el disipador de calor, la capacidad de manejo de potencia se puede aproximar en una forma más adecuada a la especificación máxima. Sin embargo, aún un buen disipador de calor no puede mantener al semiconductor en la temperatura ambiente, la cual, a propósito, puede ser mayor de 25°C si el circuito está confinado en un área en donde otras fuentes también están irradiando una gran cantidad de calor.

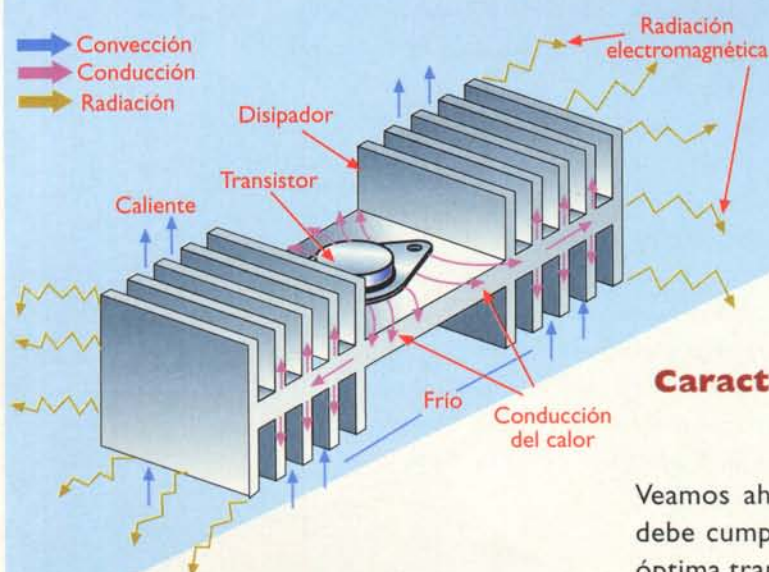


Figura 12.4. Mecanismos de transmisión de calor en el disipador de un transistor de potencia

Características generales de los disipadores

Veamos ahora cuáles son las condiciones que debe cumplir un disipador para conseguir una óptima transferencia de calor, desde el dispositivo hacia el medio ambiente:



- El tamaño del disipador depende de la cantidad de calor que debe ser irradiada, de la temperatura ambiente y de la corriente promedio a través del elemento. La superficie de irradiación no es el único punto que se debe considerar cuando se diseñan disipadores de calor. Debe tenerse en cuenta además, el material del cual está construido, el acabado de su superficie y la manera cómo el elemento que produce el calor se encuentra acoplado al disipador.
- Para una óptima conducción del calor el material debe tener una alta conductividad térmica y una gran sección transversal. La temperatura ambiente debe ser mantenida tan baja como sea posible.
- Los dos materiales más comunes para la construcción de disipadores son el cobre y el aluminio. El cobre tiene una conductividad térmica cuatro veces superior a la del aluminio, pero, debido a su alto costo, es el aluminio el que se utiliza con más frecuencia.
- Para aumentar la transferencia de calor por convección se dota al radiador de aletas en su contorno de manera que se aumente su superficie externa.

La completa efectividad del disipador de calor depende de la mayor extensión del contacto entre el elemento que va a ser enfriado y la superficie del disipador. La calidad del contacto depende del grado de conformidad entre las dos superficies y la cantidad de presión (fuerza de los tornillos) con la cual se mantienen unidas.

A nivel microscópico, la unión entre las dos superficies se realiza solamente por unos pocos puntos de contacto, quedando huecos llenos de aire por lo que la transmisión de calor a través de esta superficie será muy pobre. En cambio, si se rellenan los huecos con una pasta conductora del calor, se mejora la transmisión del mismo en un 30%. Las pastas de aceites de silicona con carga de partículas de zinc o de óxidos metálicos, cumplen a la perfección estas funciones.

En la mayoría de los casos el dispositivo semiconductor que se va a proteger no puede ser ins-

talado directamente sobre el disipador de calor ya que éste, por ser de un material conductor, puede provocar un cortocircuito entre los terminales del primero y la tierra del sistema. Para eliminar este problema, se utiliza generalmente una pieza de un material con alta conductividad térmica y alta resistencia eléctrica, como la mica, de tal modo que impida la conducción de corriente eléctrica pero permita el paso del calor desde el dispositivo hacia el disipador. En la **figura 12.5** se pueden apreciar las diferentes formas de montaje de varios tipos de semiconductores de potencia sobre un disipador de calor, incluyendo la pieza de aislamiento y los otros accesorios, como los aislantes para los tornillos.

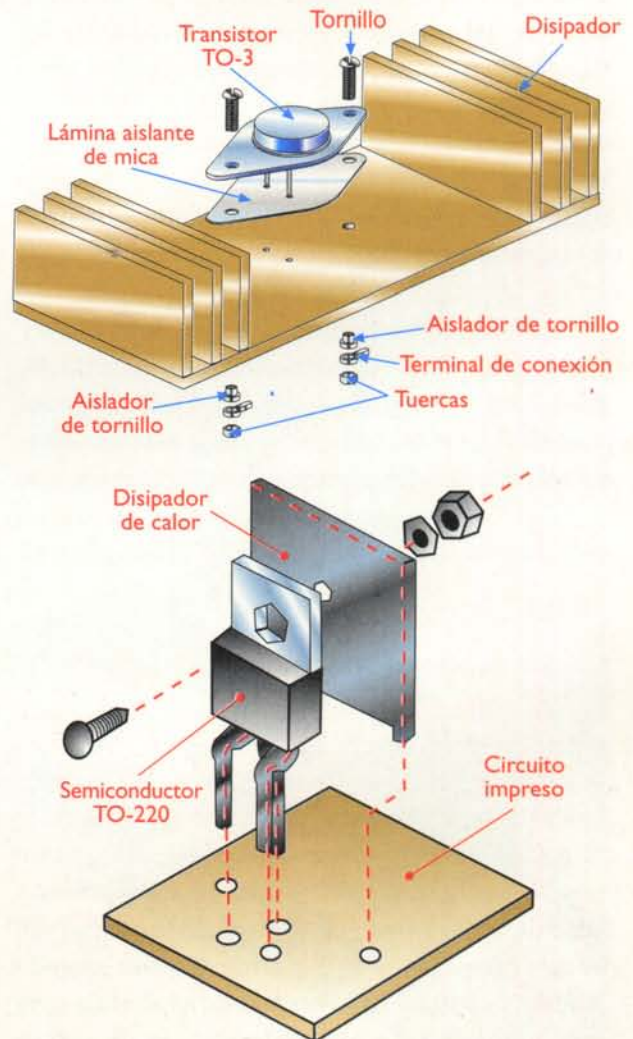


Figura 12.5. Sistemas de montaje en los disipadores de calor para diferentes tipos de encapsulados de semiconductores de potencia

Lección 13

Los circuitos integrados (integrated circuits, IC)

Estos son quizás los componentes más importantes dentro de la electrónica moderna ya que, gracias a ellos, esta tecnología ha llegado hasta su extraordinario estado actual. Un circuito integrado es un circuito electrónico completo que puede tener desde unos cientos hasta varios millones de transistores en una sola cápsula muy pequeña. Dependiendo de su tipo y aplicación, cumplen una gran diversidad de tareas, desde unas muy simples, trabajando como reguladores de voltaje, hasta unas muy complejas como las de los microprocesadores, los cerebros de las computadoras.

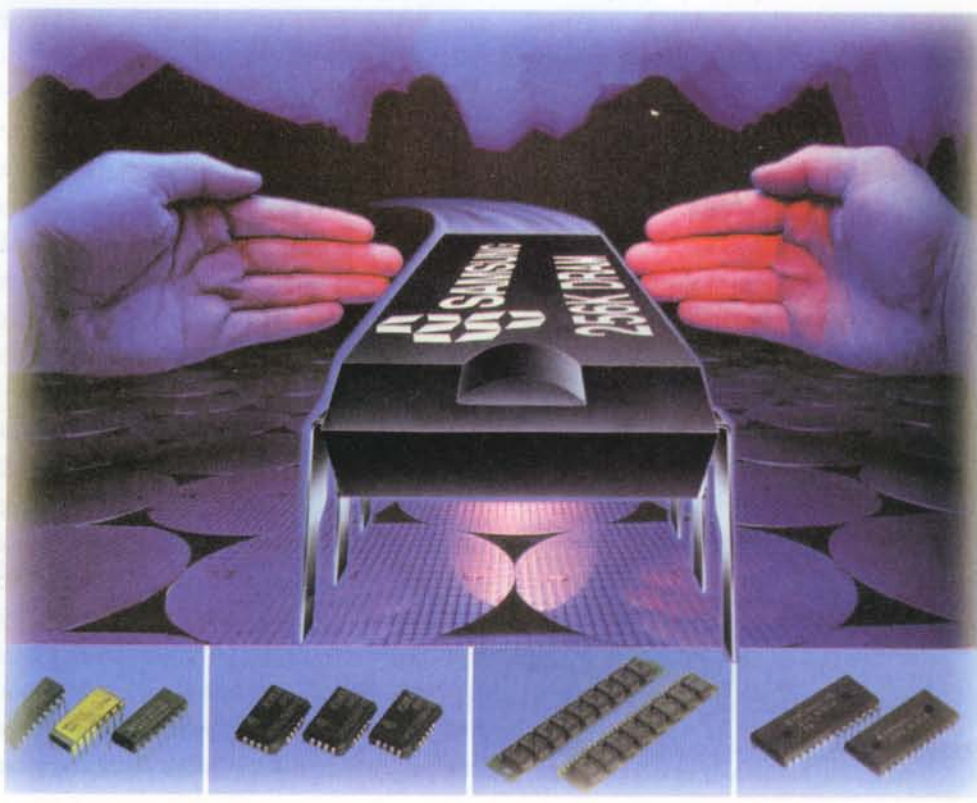




Figura 13.3. Robert S. Noyce y Jack S. Kilby

condensadores, transistores y diodos sobre una misma rebanada de silicio”.

Para finales de agosto, ya había construido una versión simplificada de su circuito: un oscilador de desplazamiento de fase interconectado con alambres de oro. Este prototipo es considerado como el primer circuito integrado (CI) verdadero. Su proceso requería la instalación de alambres para hacer las conexiones, los cuales eran frecuentemente más grandes que los circuitos mismos; Robert Noyce, de Fairchild, propondría luego un proceso más eficiente.

El primer circuito integrado comercial fue producido por Fairchild en 1961. A partir de entonces, la tecnología de construcción se fue desarrollando con extraordinaria rapidez destacándose empresas como National Semiconductor, Motorola, Intel y RCA en E.U.A. En Japón y Europa también se ha desarrollado extraordinariamente esta tecnología por marcas como Sony, Toshiba, Hitachi, Mitsubishi, Philips, etc. El principal objetivo de este desarrollo es incrementar el número o *densidad de componentes* dentro de un circuito integrado, llegando a la fecha al sorprendente número de 45.000.000 (cuarenta y cinco millones) de transistores en el microprocesador Pentium IV de Intel, figura 13.4.

Tipos de circuitos integrados (en general)

Los circuitos integrados pueden ser de varios tipos, dependiendo de su función específica, su grado de complejidad, el tipo de señales que manejan,

la tecnología de fabricación y otros criterios. La complejidad o nivel de integración, en particular, se refiere al número de componentes integrados en el *chip*. Desde este punto de vista, los circuitos integrados pueden ser de pequeña escala (*Small Scale Integration* o SSI), mediana escala (MSI), alta escala (LSI) y muy alta escala (VLSI).

Dependiendo del tipo de señales que manejan, los circuitos integrados pueden ser análogos (lineales), digitales o mixtos, figura 13.5. Los **circuitos integrados análogos o lineales**, trabajan con señales **análogas**, es decir, que pueden adoptar un número infinito de valores entre un mínimo y un máximo. Ejemplos de circuitos integrados análogos son los reguladores de voltaje, los amplificadores operacionales, los filtros activos, etc. Los **circuitos integrados digitales**, por su parte, trabajan con señales **digitales o binarias**, es decir que sólo pueden adoptar uno de dos valores posibles (1 ó 0) (*ON-OFF*). Ejemplos de circuitos integrados digitales son las compuertas, los multivibradores (*flip-flops*), los codificadores, los contadores, los registros, las memorias, los microcontroladores, los microprocesadores, etc.

Muchos circuitos integrados son también **análogo-digitales**. Ejemplos de circuitos integrados de este tipo son los convertidores A/D y D/A, los potenciómetros digitales, los sintetizadores de voces y sonidos, los procesadores digitales de señales (DSP), etc. La convergencia de técnicas análogas y digitales en un solo *chip* es la principal responsable del auge de las comunicaciones, el audio, el video, el control y otras tecnologías digitales modernas. Dependiendo del método de fabri-

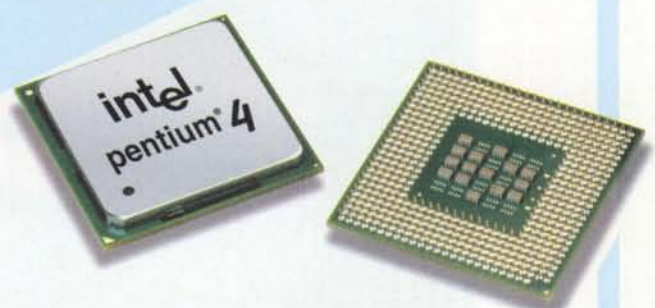


Figura 13.4. El microprocesador Pentium IV, uno de los circuitos integrados más avanzados hasta la fecha

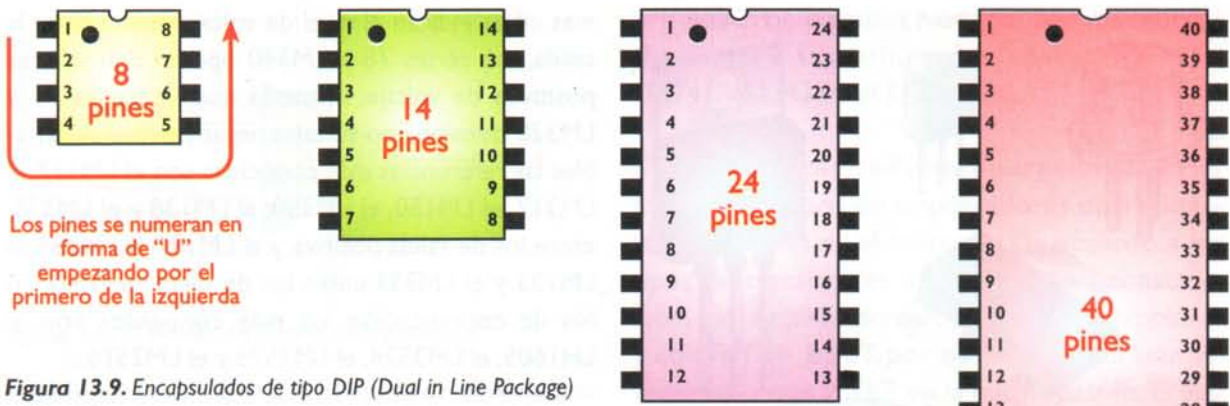


Figura 13.9. Encapsulados de tipo DIP (Dual in Line Package)

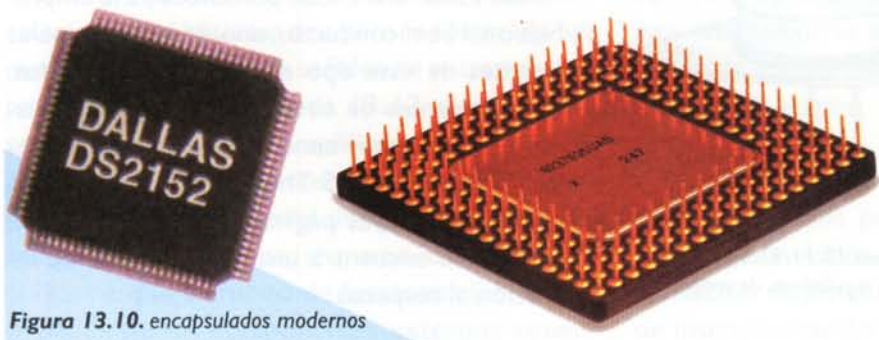


Figura 13.10. encapsulados modernos

Ejemplos de referencias son LM555, CD4047B, ICL7106, XR-2240, etc. El prefijo (primeras letras) de la referencia identifica generalmente al fabricante, aunque no es una regla absoluta. Por ejemplo, AD corresponde a Analog Devices, DM, LM, LF y LH a National Semiconductor, CA y CD a RCA, DS a Dallas Semiconductor, μ A a Fairchild, HA a Harris o Hitachi, MC a Motorola, ICL a Intersil, OPA a Burr-Brown, LT y LTC a Linear Technology, NE a Signetics, SN a Texas Instruments, ECG a Philips/Sylvania, XR a Exar, etc.

Existen en la actualidad tal cantidad de referencias de circuitos integrados, que, solamente por medio de los manuales de cada fabricante o a través de la internet, podemos saber la función de un determinado circuito integrado y su diagrama de pines, que es la información fundamental para su utilización o chequeo en caso de un trabajo de reparación.

Los circuitos integrados lineales (Linear integrated circuits)

Como lo habíamos mencionado, este es uno de los principales tipos de circuitos integrados clasi-

ficados según su función. De éstos los más representativos son los reguladores de voltaje cuyas principales aplicaciones fueron estudiadas en la lección 7 de la sección de Teoría y los amplificadores operacionales explicados en la lección 9 de la misma sección.

Los reguladores de voltaje (Voltage regulators)

Los circuitos integrados reguladores de voltaje cumplen dos labores fundamentales: evitan el "rizado" o ruido del voltaje proveniente del circuito rectificador (remanente de CA) y entregan un voltaje constante de CC en la salida de las fuentes de poder, independientemente de las variaciones en la corriente exigida por la carga o de las variaciones en el voltaje de alimentación de CA. Hay diferentes tipos de reguladores de voltaje integrados, siendo los más utilizados los fijos, los variables y los de conmutación o *suicheo*. Tanto los fijos como los variables vienen en versiones con salida positiva o negativa, y sus principales características son el voltaje de salida (CC) y la corriente que pueden manejar.

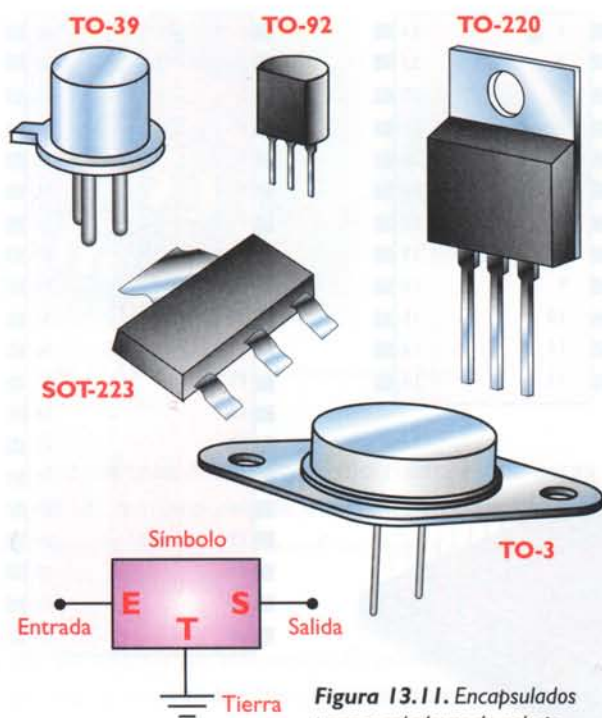


Figura 13.11. Encapsulados para reguladores de voltaje

Dentro de los fijos y variables hay una nueva generación de reguladores llamados de baja caída o LDO (*Low dropout voltage regulators*) los cuales tienen un menor voltaje entre la salida y la entrada que los hace más eficientes y producen menos calor.

Los valores más utilizados de voltaje para los reguladores fijos son 5, 6, 10, 12, 15, 18 y 24 voltios, tanto positivos como negativos y se fabrican con valores nominales de corriente de 100 mA, 500 mA, 1A, 3A y 10A entre otros. En cuanto a los variables los hay entre 1,2 y 32 o 37 voltios positivos y negativos con capacidades de corriente entre 0,1 y 5 amperios. Los principales encapsulados que utilizan estos reguladores son el TO-39, el TO-92, el TO-220 y el TO-3, y los más modernos, encapsulados de montaje superficial, figura 13.11. Vale la pena mencionar que la mayoría de los reguladores de voltaje hay que montarlos sobre un disipador de calor.

Ejemplos de circuitos integrados reguladores con salida fija son los pertenecientes a la serie LM340-XX, LM320-XX, 78XX y 79XX, donde las dos últi-

mas cifras indican el nivel de voltaje presente en la salida. Las series 78 y LM340 operan con valores positivos de voltaje, mientras que las series 79 y LM320 trabajan con voltajes negativos. En los variables las referencias más conocidas son el LM117, el LM317, el LM150, el LM350, el LM138 y el LM338, entre los de salida positiva; y el LM137, el LM337, el LM133 y el LM333 entre los de salida negativa. En los de conmutación los más conocidos son el LHI605, el LM3524, el LM1575 y el LM2576.

Todas estas referencias pertenecen a la empresa National Semiconductor, uno de los principales fabricantes de este tipo de circuitos integrados. Otros fabricantes de circuitos integrados reguladores de voltaje muy conocidos son: Linear Technology, Motorola, SGS Thompson, Texas Instruments, etc., en cuyas páginas web o manuales de productos se encuentra una gran cantidad de información al respecto.

Los amplificadores operacionales (*Operational amplifiers*)

Uno de los circuitos integrados que más amplia y positiva influencia ha tenido sobre la industria electrónica en general, y en particular sobre los sistemas de audio, es el **amplificador operacional**. Puede decirse que los amplificadores operacionales son para la electrónica analógica lo que las **compuertas lógicas** son para la electrónica digital, es decir, los bloques básicos de construcción de todo tipo de circuitos.

El nombre de amplificador operacional fue dado a los primeros amplificadores de alta ganancia diseñados para llevar a cabo operaciones matemáticas de suma, sustracción, multiplicación y división. El primer amplificador operacional monolítico de uso popular fue el μ A709, fabricado por la compañía Fairchild Semiconductor en 1965. A pesar de su gran éxito comercial, este circuito de primera generación tenía muchas desventajas. De ahí que apareciera una versión mejorada, el μ A741 (LM741). Puesto que éste es barato y fácil de usar ha tenido un gran éxito y se ha convertido en todo un estándar de la industria.

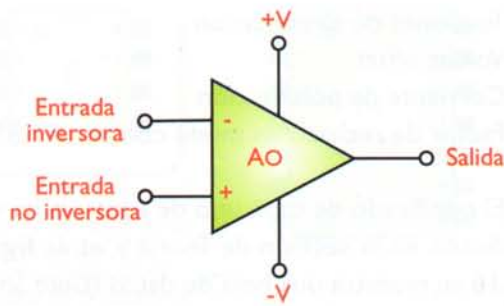


Figura 13.12. Símbolo del amplificador operacional

Configuración del amplificador operacional. Los amplificadores operacionales tienen cinco terminales básicos: dos para la fuente de alimentación, dos para las señales de entrada y uno para la salida. En la figura 13.12 se puede observar el símbolo del amplificador operacional. Aunque su estructura interna es compleja, no es necesario conocerla para utilizarlo ya que quienes lo diseñaron y construyeron lo hicieron de tal forma que su modo de funcionamiento sólo depende de los componentes externos conectados a él. En la sección de Teoría de este mismo curso se explican en detalle sus principales configuraciones y modos de funcionamiento.

Encapsulados. En la figura 13.13 se muestra el aspecto externo de algunos encapsulados comúnmente usados para los amplificadores operacionales de propósito general. Generalmente se suelen encapsular uno, dos o cuatro operacionales en un solo circuito integrado. En cuanto a su identificación, se hace por el sistema ya conocido de referencias conformadas por una combinación de letras y números según cada fa-

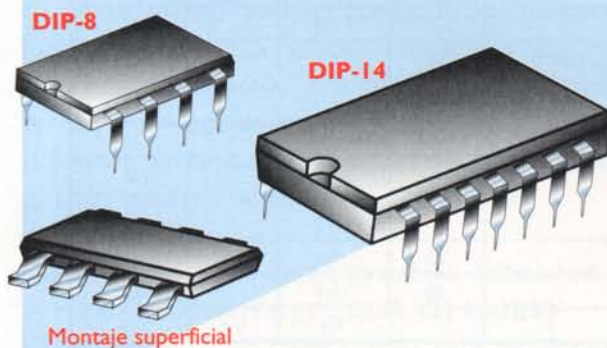


Figura 13.13. Encapsulados para amplificadores operacionales

bricante. Por ejemplo National Semiconductor tiene entre sus principales operacionales el LM741, el LM324, el LF353, etc.

Tipos de amplificadores operacionales. Hay muchísimos tipos de amplificadores operacionales disponibles en el mercado. De acuerdo a los tipos de transistores utilizados en su construcción, hay amplificadores operacionales bipolares y con FET. El BIFET, por su parte, utiliza transistores bipolares y JFET en la misma pastilla. El uso de FET proporciona una impedancia de entrada muy alta, mientras los transistores bipolares, en las otras etapas, permiten alcanzar una elevada ganancia de voltaje.

Existen amplificadores operacionales especialmente diseñados para aplicaciones específicas. Los más conocidos son los destinados a la amplificación de potencia de audio y a los circuitos de instrumentación. Los primeros manejan voltajes y corrientes altas y algunas funciones especiales como protección contra cortocircuitos. Los principales fabricantes de este tipo de circuitos son National Semiconductor y Sanyo con su línea STK. En la figura 13.14 se muestran ejemplos de estos circuitos integrados y en la sección de proyectos se presentan algunos circuitos que los utilizan.

Los amplificadores operacionales para instrumentación poseen características especiales, como

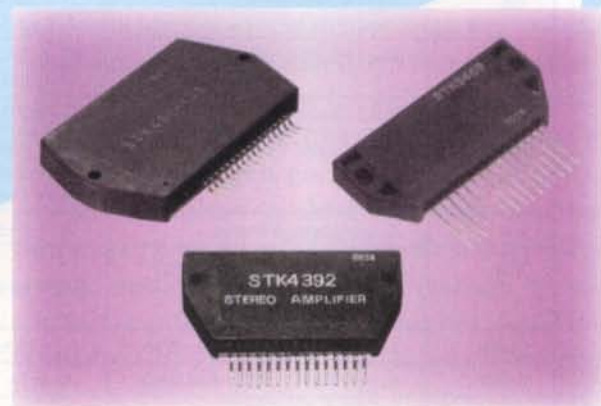


Figura 13.14. Amplificadores operacionales integrados para etapas de potencia en amplificadores de audio

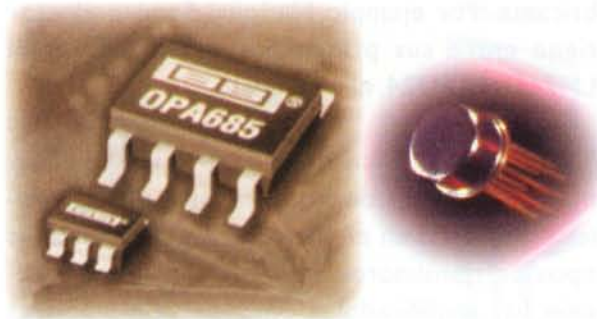


Figura 13.15. Amplificadores operacionales para instrumentación

una excelente precisión y bajo ruido, entre otras. Además, su consumo de corriente es muy bajo. En la figura 13.15 se muestran ejemplos de estos circuitos integrados.

Parámetros de los amplificadores operacionales. Como todos los semiconductores, los amplificadores operacionales poseen ciertas características eléctricas que los distinguen unos de otros. A continuación presentamos algunas de las más importantes:

- Ganancia de voltaje en lazo abierto
- Impedancia de entrada

- Tensiones de alimentación
- Voltaje *offset*
- Corriente de polarización
- Factor de rechazo en modo común (CMRR)

El significado de cada uno de éstos ya ha sido explicado en la sección de Teoría y, en la figura 13.16 se muestra una hoja de datos (*Data Sheet*) típica de un amplificador operacional con estos parámetros.

Otros tipos de circuitos integrados lineales

Hay otros tipos de circuitos integrados lineales o análogos, como las referencias de voltaje (*voltage references*), los comparadores de voltaje (*voltage comparators*), los interruptores análogos integrados (*analog switches*); y los de funciones especiales, como los impulsores (*drivers*), temporizadores (*timers*), PLL, codificadores y decodificadores de tono (*tone encoders and decoders*), controles para motores (*motor controls*), manejadores de pantallas (*display drivers*), etc. los cuales se pueden estudiar a medida que se vayan encontrando en diferentes proyectos, revistas, etc.

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ Over Temperature		5	10 13	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega$		10		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{OS}	Input Offset Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Notes 3, 4) $T_J \leq 70^\circ\text{C}$		25	100 4	pA nA
I_B	Input Bias Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Notes 3, 4) $T_J \leq \pm 70^\circ\text{C}$		50	200 8	pA nA
R_{IN}	Input Resistance	$T_J = 25^\circ\text{C}$		10^{12}		Ω
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = \pm 10\text{V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$ Over Temperature	25	100		V/mV V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	± 12	± 13.5		V
V_{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	± 11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I_S	Supply Current			1.8	3.4	mA

Figura 13.16. Hoja de datos típica de un amplificador operacional

Los circuitos integrados digitales (Digital integrated circuits)

Estos son quizás los circuitos integrados más importantes en la electrónica moderna ya que gracias a ellos se han podido fabricar todo tipo de aparatos, como calculadoras, relojes digitales, computadoras, sistemas de sonido digitales, aparatos de comunicaciones digitales, sistemas de control y automatización, etc.

Su aspecto físico (encapsulado) es similar al de los circuitos integrados lineales, tal como se mostró en la **figura 13.10**, pero sus funciones son totalmente distintas. Como su nombre lo indica, estos circuitos trabajan con base en números o dígitos binarios (1 y 0), o niveles altos y niveles bajos. Un nivel alto indica que hay, un voltaje y un nivel bajo indica que no lo hay, tal como se estudia en la lección 10 de la sección de teoría. Un circuito integrado digital, en forma general, es como una pequeña caja negra con un cierto número de entradas que reciben un conjunto de señales digitales; y otro de salidas, las cuales entregan otras señales digitales. Las salidas están relacionadas con las entradas según la función de cada circuito, **figura 13.17**. La mayoría de estas funciones se basan en la matemática binaria y el álgebra *booleana* o de *Boole*.

Tipos de circuitos integrados digitales

Tal como se dijo en la lección mencionada, los circuitos integrados digitales se dividen en dos grandes familias: los TTL y los CMOS, dependiendo del tipo de transistores con los cuales se fabriquen. A su vez, cada una de estas familias se divide en subfamilias de acuerdo a las diferentes características eléctricas que posean. La utilización de una determinada familia o subfamilia depende del uso que se le vaya a dar al circuito, en cuanto al tipo de señal



Figura 13.17. Estructura general de un circuito integrado digital

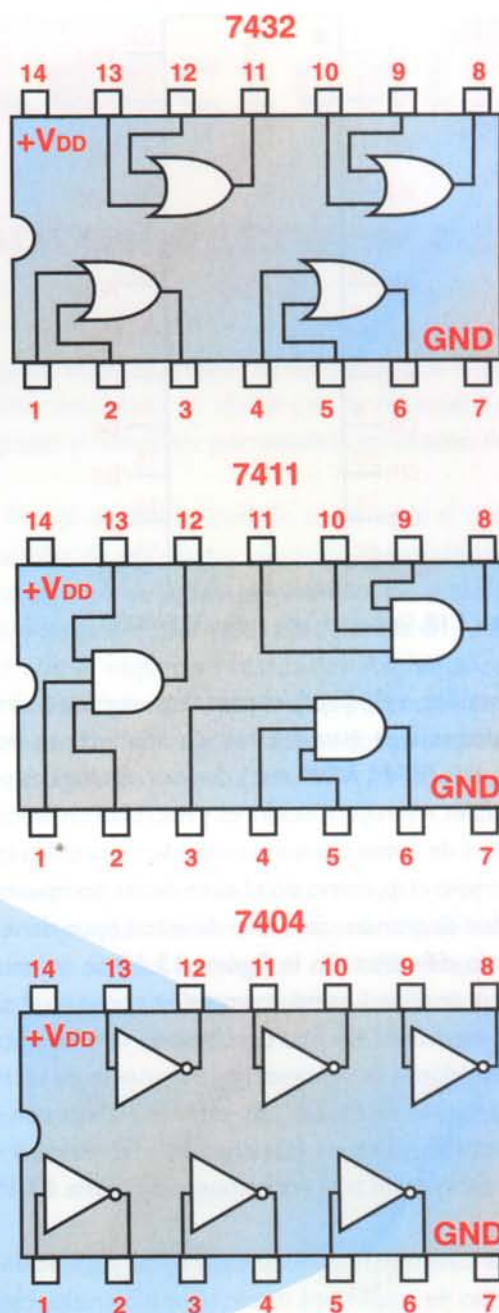


Figura 13.18. Símbolos y diagrama de pines de algunos circuitos integrados digitales

les que se van a manejar de acuerdo al voltaje, corriente y frecuencia principalmente.

Independiente del tipo TTL o CMOS, la clasificación más importante depende de la función, siendo las principales las siguientes: compuertas lógicas, interfaces, codificadores, decodificadores, multiplexores, demultiplexores, multivibradores (monoestables

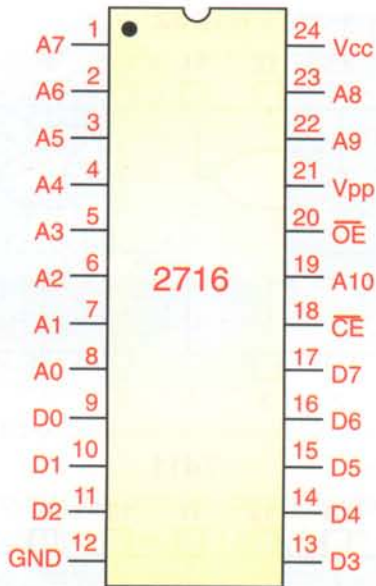


Figura 13.19. Símbolo de una memoria EPROM

y biestables o *flip-flops*), contadores, registros, circuitos aritméticos (sumadores, comparadores, etc.), memorias (RAM, ROM, etc.), dispositivos lógicos programables, microprocesadores y microcontroladores. Algunos de éstos contienen más de un circuito igual en un solo *chip*, como en el caso de las compuertas. Para los diagramas, cada uno de estos tipos tiene un símbolo diferente. En la **figura 13.18** se muestran algunos de ellos. Los más complejos, como en el caso de las memorias, los microprocesadores y los microcontroladores, se representan por medio de un rectángulo, y sus terminales de entrada y salida con sus respectivos nombres (abreviados) y el número del pin o terminal al cual corresponden, **figura 13.19**

Las características eléctricas y físicas y la función de cada uno de estos tipos de circuitos integrados digitales es un tema muy interesante y extenso, el cual se puede estudiar en los siguientes cursos de CEKIT: Curso práctico de Electrónica Digital y Circuitos Integrados, Curso Básico de Microprocesadores y Curso Práctico de Microcontroladores, **figura 13.20**

Perspectivas de los circuitos integrados

El desarrollo de los circuitos integrados, tanto analógicos como digitales, se mantiene permanentemen-

te a un ritmo vertiginoso. Cada vez aparecen nuevos componentes que superan el rendimiento y las funciones de los anteriores.

Las principales ventajas de la integración de los componentes son: la simplicidad en el diseño, la reducción del tamaño de los equipos, una mayor confiabilidad y un menor costo. Los circuitos integrados se pueden utilizar como bloques funcionales que, con unos cuantos componentes externos adicionales, forman sistemas completos los cuales son mucho más sencillos de diseñar, fabricar y reparar que sus equivalentes en componentes discretos.

Curso de electrónica digital



Curso básico de microprocesadores



Curso básico de microcontroladores



Figura 13.20. Otros cursos de CEKIT

Lección 14

Los componentes optoelectrónicos

Hay un tipo especial de componentes, llamados **optoelectrónicos**, que utilizan la luz, ya sea que la reciban o la emitan, para realizar diferentes funciones dentro de los aparatos electrónicos. Entre ellos están los diodos LED, los *displays* o pantallas con LED o de cristal líquido (LCD), los fotodiodos, las fotoceldas, los optoacopladores, la fibra óptica, etc. En esta lección nos dedicaremos a las pantallas (*displays*) de cristal líquido o LCD y a los optoacopladores.

Las pantallas de cristal líquido (Liquid Cristal Display o LCD)

Estas pantallas se están utilizando ampliamente en todo tipo de aparatos electrónicos debido a su bajo consumo de corriente y a su gran diversidad de formas y presentaciones. Seguramente usted estará muy familiarizado con ellas pues las vemos en los relojes digitales de pulsera, en calculadoras, multímetros digitales, controles de máquinas, equipos de fax, juegos electrónicos, agendas personales, teléfonos celulares, computadoras portátiles, etc.

Las pantallas tipo LCD consisten en dos placas de material polarizador con una delgada capa de cristal líquido entre ellas. El cristal líquido es una sustancia que posee propiedades intermedias entre las de un líquido y un sólido, y está compuesto por moléculas en forma de pequeños cilindros que pueden rotar la dirección de polarización de un haz de luz que las atraviese. Esta rotación es controlable eléctricamente, como se muestra en la **figura 14.1**. Los polarizadores se alinean perpendicularmente entre sí, de tal manera que la luz que atraviesa al primero de ellos será completamente bloqueada por el segundo. Cuando no existe campo eléctrico, las moléculas rotan la polarización de la luz que

llega, en total 90 grados, de forma tal que la polarización resultante se alinea con la orientación del segundo polarizador permitiendo así el paso de luz.

Por el contrario, cuando se somete el cristal a la acción de un campo eléctrico, las moléculas se alinean y no se produce el efecto de rotación, lo que ocasiona que la luz sea bloqueada en su totalidad por el segundo polarizador. Así entonces, en ausencia de campo eléctrico, los puntos de un LCD aparecen brillantes, y cuando se aplica el campo se tornan negros.

Hay tres tipos principales de pantallas LCD: las de siete segmentos, las de caracteres (matriz 5 x 7) y las gráficas. Las de siete segmentos son similares a los *displays* numéricos con LED y las hay de dos, cuatro o más dígitos; las de caracteres forman

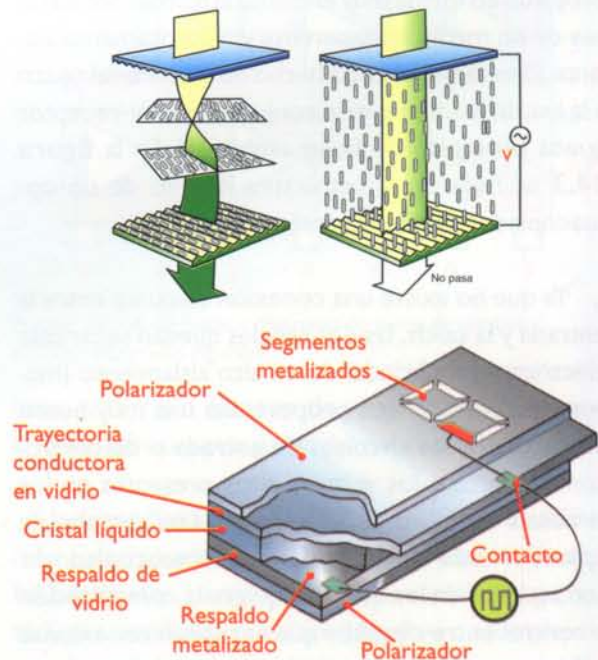


Figura 14.1. Estructura interna de una pantalla LCD



Figura 14.2. Diferentes tipos de pantallas LCD

una, dos o más filas con un determinado número de caracteres, por ejemplo 2 x 16, 4 x 20, etc.; y las gráficas se clasifican por el número de puntos o píxeles (320 x 240, 120 x 160, etc.), y las hay en blanco y negro o en color. En la **figura 14.2** se muestran algunos modelos representativos.

Los optoacopladores

Un optoacoplador o aislador optoelectrónico es un circuito integrado que contiene en un mismo encapsulado un diodo LED infrarrojo y un fotodetector, separados físicamente y alineados de tal forma que la luz generada por el emisor infrarrojo es acoplada en forma muy eficiente al fotosensor, a través de un medio transparente y eléctricamente aislante. El encapsulado está hecho de un material opaco a la luz, de manera que el conjunto emisor-receptor queda protegido de la luz ambiental. En la **figura 14.3** se muestra la estructura interna de un optoacoplador con fototransistor.

Ya que no existe una conexión eléctrica entre la entrada y la salida, las dos señales quedan separadas eléctricamente brindando un alto aislamiento (mayor a 2.500 V), lo que proporciona una muy buena protección a los circuitos de entrada o de control con respecto a los voltajes altos presentes en los circuitos de salida o de potencia. Los campos de aplicación más comunes para los optoacopladores son aquellos en los que se requiere la comunicación o control entre circuitos que necesitan conexiones a tierra separadas, en circuitos donde se deben con-

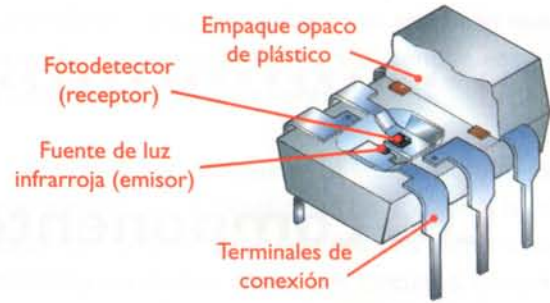


Figura 14.3. Estructura interna de un optoacoplador

trolar niveles de CC, por ejemplo, en las fuentes de conmutación, para controlar sistemas de alta potencia a partir de circuitos digitales, y en la transmisión de datos digitales. Los optoacopladores también pueden reemplazar relés y transformadores en muchas interfaces digitales y su respuesta en frecuencia es excelente en circuitos analógicos.

Tipos de optoacopladores

Dependiendo de la aplicación y las exigencias técnicas, los optoacopladores se construyen utilizando fotosensores de muchos tipos. Los más conocidos son los fototransistores, los fotodiodos, los optotriacs, los optoSCR y los *photodarlington*. También se encuentran disponibles optoacopladores multicanal, los cuales tienen varios emisores controlando a un fotosensor o varios pares de emisores-fotosensores. El aspecto físico de los optoacopladores es muy similar al de los circuitos integrados tipo DIP (*Dual in Line Package*) de 6, 8 o 14 pines. En la **figura 14.4** se muestran los símbolos de los principales tipos de optoacopladores y su encapsulado.

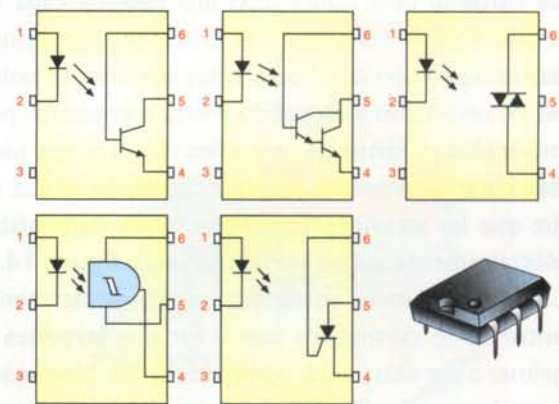


Figura 14.4. Símbolos y aspecto físico de los optoacopladores

Lección 15

Los transductores

Un **transductor** es un dispositivo o componente que convierte una forma de energía en otra. Los dispositivos que convierten señales eléctricas en luz, sonido, calor, movimiento, etc., o viceversa, se denominan *transductores eléctricos* y son los que permiten que los sistemas eléctricos o electrónicos puedan comunicarse o interactuar con el mundo externo. Hay muchos tipos de transductores los cuales no alcanzamos a cubrir y por lo tanto hablaremos de dos de los más utilizados con algunos de los circuitos y aparatos estudiados en este curso; se trata de los micrófonos y los parlantes.

Los micrófonos

Son dispositivos o transductores de entrada que convierten ondas sonoras en señales eléctricas de

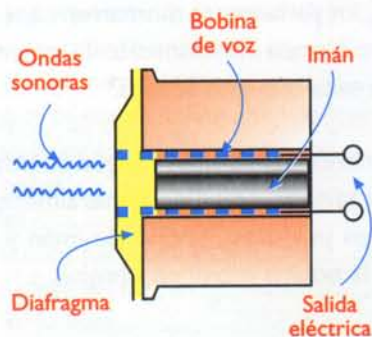


Figura 15.1. Principio básico de funcionamiento de un micrófono

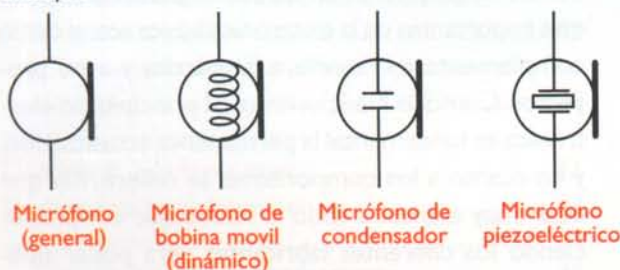


Figura 15.2. Símbolos de algunos tipos de micrófonos

voltaje o de corriente equivalentes, figura 15.1. Estas señales son posteriormente procesadas por circuitos electrónicos con el fin de amplificar, grabar o modificar el sonido original. Existen varios tipos de micrófonos dependiendo de su principio de funcionamiento. Los más utilizados en audio son el dinámico, el de condensador, el piezoeléctrico y el *electret*. Otro tipo muy común de micrófono, utilizado principalmente en telefonía, es el de carbón. En la figura 15.2 se muestran los símbolos de algunos de ellos.

Los micrófonos vienen en una gran variedad de presentaciones. Sin embargo, todos constan de una cápsula, un cuerpo, un cable y un conector, figura 15.3. La cápsula comprende el diafragma y el elemento transductor propiamente dicho. Muchos incluyen también filtros acústicos previos a la conversión eléctrica que eliminan sonidos ambientales indeseados, por ejemplo el ruido del viento. El cable utilizado para llevar la señal de salida al circuito de utilización es blindado o apantallado para

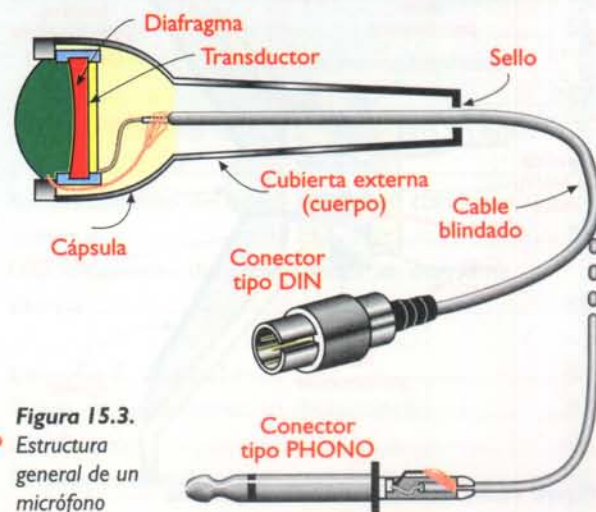


Figura 15.3. Estructura general de un micrófono

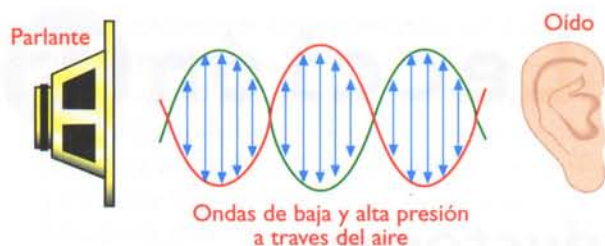


Figura 15.4. Acción básica de un parlante

minimizar la inducción de ruido. El conector final puede ser un *plug phono*, DIN, XLR, o de otro tipo para audio.

Los micrófonos poseen varias características distintivas que determinan su calidad o idoneidad para una tarea determinada. Las más importantes son la sensibilidad, la directividad, la respuesta de frecuencia y la impedancia.

Los parlantes

Son transductores de salida que convierten señales eléctricas en sonidos equivalentes, figura 15.4. En este sentido, un parlante realiza una función exactamente opuesta a la de un micrófono. El tipo más común y antiguo de parlante, utilizado en más del 95% de los sistemas de sonido modernos, es el **dinámico** o de bobina móvil. En la figura 15.5 se muestra la estructura interna de un parlante típico.

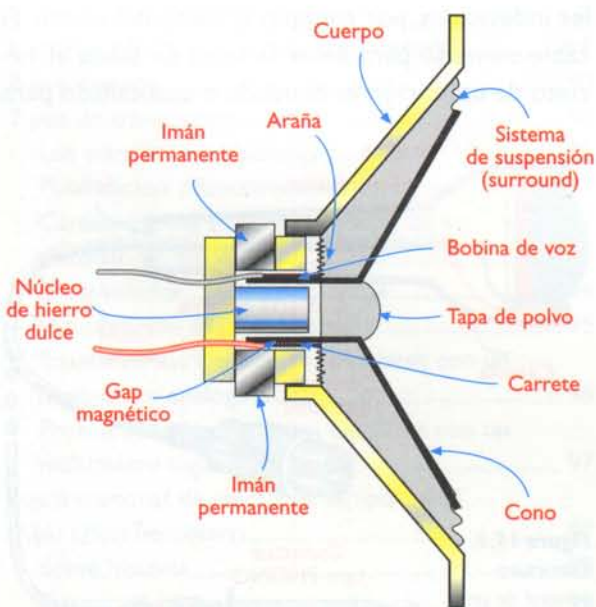


Figura 15.5. Estructura interna de un parlante

En su forma más simple, un parlante dinámico consta de una bobina móvil, un cono, un imán permanente y un soporte. La bobina está enrollada sobre un soporte de papel o de cartón y recibe la señal eléctrica de audio procedente del amplificador. El cono es una membrana de cartón de textura especial acoplada mecánicamente a la bobina por su borde más estrecho. El borde más ancho posee un sistema de suspensión que amortigua y absorbe las vibraciones de alta frecuencia que viajan por el cono.

Cuando la señal de audio pasa a través de la bobina, produce un campo magnético variable que interactúa con el campo magnético fijo creado por el imán. Como resultado de esta interacción, la bobina se mueve hacia adelante y hacia atrás, al ritmo impuesto por la señal de audio. Puesto que el cono está unido solidariamente a la bobina, también vibra y provoca cambios de presión en el aire circundante. Esto crea ondas de sonido (voces, música, etc.) que son una réplica física de la señal eléctrica de excitación del parlante. Cuando el cono de un parlante se mueve hacia adelante, produce una mayor presión de aire (compresión) al frente y una menor presión (rarefacción) detrás. Estos dos fenómenos vibratorios tienden a cancelarse y a reducir el sonido producido. Por esta razón, los parlantes se montan en cajas acústicas o *baffles*, recubiertos internamente de material absorbente, que evita que esto suceda.

Los parlantes se clasifican según su potencia en vatios, su tamaño (medido generalmente por el diámetro en pulgadas), el tipo de imán y la impedancia de la bobina móvil en ohmios.

Damos así por terminada la sección de componentes de este curso en donde les presentamos los más importantes de la electrónica básica actual como complemento a la teoría, a la práctica y a los proyectos. Como lo mencionamos al principio, en electrónica es fundamental la permanente actualización, y en cuanto a los componentes se refiere, hay que estar muy atentos a todo lo nuevo que van produciendo los diferentes fabricantes para poder utilizarlos y así aprovechar toda esta tecnología.

Índice Componentes

Lección 1. Los componentes electrónicos 1

Los sistemas electrónicos	2
Clasificación de los componentes electrónicos	5

Lección 2. Símbolos y diagramas electrónicos 7

¿Qué símbolo le corresponde a cada componente?	8
Los diagramas pictóricos	10
Los diagramas esquemáticos	11
Los diagramas de bloques	12

Lección 3. Los componentes

electromecánicos 13

Los conductores eléctricos	14
Clasificación de los conductores eléctricos	14
Alambre	14
Cable	14
Cómo se identifican los conductores	16
Los interruptores	17
¿Qué es un interruptor?	17
Simbología	18
Clasificación	18
¿Cómo se prueban los interruptores?	20
¿Qué debemos tener en cuenta cuando seleccionamos y utilizamos un interruptor?	21
Los conectores	21
Estructura	21
Clasificación	22
¿Qué debemos tener en cuenta al elegir un conector?	24
Los circuitos impresos	25
¿Qué es un circuito impreso?	25
Tipos de circuitos impresos	25
Estructura básica de un circuito impreso	26
Fabricación de los circuitos impresos	27
Breve historia	28
Los fusibles	29
¿Qué son los fusibles?	29
¿Cómo elegir un fusible?	29
Tipos de fusibles	31
¿Cuándo se queman los fusibles?	32
¿Qué debo y qué no debo hacer cuando se quema un fusible?	32
¿Cómo puedo saber si un fusible está bueno o malo?	32

Lección 4. Las lámparas 33

Las lámparas incandescentes	34
Estructura	34
Tipos de lámparas incandescentes	35

Lámparas de descarga de gas	36
Lámparas fluorescentes	36
Lámparas de xenón (estroboscópicas)	36

Lección 5. Las pilas y las baterías 37

Pila o celda básica	38
Símbolos	38
Clasificación	39
Pilas y baterías primarias	39
Pilas y baterías secundarias o recargables	41

Lección 6. Las resistencias 43

Las resistencias fijas	44
Clasificación	44
¿Qué debemos tener en cuenta cuando seleccionamos una resistencia?	45
Valores normalizados	46
Resistencias variables	47
¿Cómo se prueban?	46
Clasificación	47
¿Qué debemos tener en cuenta cuando seleccionamos un potenciómetro?	50
Aplicaciones	50
Prueba de los potenciómetros	50

Lección 7. Los condensadores 51

Clasificación	52
Los condensadores fijos	52
Condensadores cerámicos	53
Condensadores de película plástica	53
Condensadores de papel	54
Condensadores de mica	54
Los condensadores variables	55
¿Qué debemos tener en cuenta cuando seleccionamos un condensador?	56
Formas de identificación	56
¿Qué significan las letras y números impresos sobre el condensador?	57
¿Cómo saber si un condensador está en buen o mal estado?	58
Funcionamiento del condensador en corriente continua	59
Funcionamiento del condensador en corriente alterna	60

Lección 8. Las bobinas 61

Teoría de funcionamiento (inductancia)	62
Clasificación	64
Formas de identificación	66

Cuidados con los destornilladores

Para su buen uso y la seguridad del usuario, es muy importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. No use el mango del destornillador como martillo.
2. Nunca use el destornillador como palanca.
3. Asegúrese que la punta del vástago encaje perfectamente en la ranura del tornillo para no dañar la cabeza de éste. Por eso se deben tener destornilladores de varios tamaños para adaptarse a diferentes medidas de tornillos.
4. El ancho de la punta del vástago debe ser igual al diámetro de la cabeza del tornillo.
5. escoja el espesor de la punta del vástago para que quede bien ajustado, sin holgura en la ranura del tornillo.

Las pinzas

Son herramientas metálicas compuestas por dos brazos trabados y asegurados por un eje que permite abrirlas o volverlas a cerrar. En uno de sus extremos se encuentran las mandíbulas las cuales, de acuerdo a su forma, pueden servir para apretar, cortar, doblar, pelar, insertar y extraer. En el otro extremo están generalmente aisladas o cubiertas con diferentes materiales con el fin de hacer más cómodo su uso y para aislar al usuario del contacto con la corriente eléctrica. Para el trabajo en electrónica son pequeñas y las más utilizadas son:

1. La pinza de puntas planas: es una pinza de mandíbulas planas para sujetar y doblar los cables y los terminales de los componentes. También se utilizan para apretar algunas tuercas muy pequeñas; las superficies de sus mandíbulas puede ser lisas o estriadas. De estas pinzas hay diferentes tipos los cuales se utilizan según el trabajo que se va a efectuar. **Figura 1.3**



Figura 1.3. Pinza de puntas planas

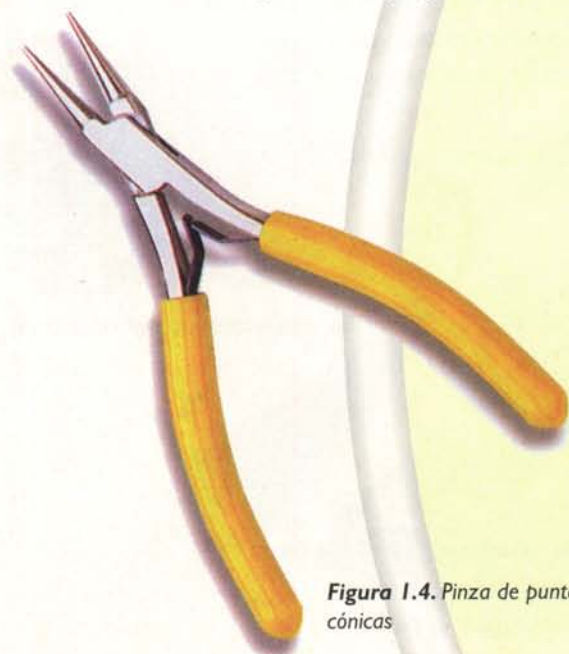


Figura 1.4. Pinza de puntas cónicas

2. La pinza de puntas cónicas: es una pinza con mandíbulas en forma de cono. Se utiliza generalmente para hacer argollas en los extremos de los conductores, para luego poder colocar y apretar tornillos en ellas. Por su forma cónica, permite hacer argollas para diferentes diámetros de tornillos.

Figura 1.4

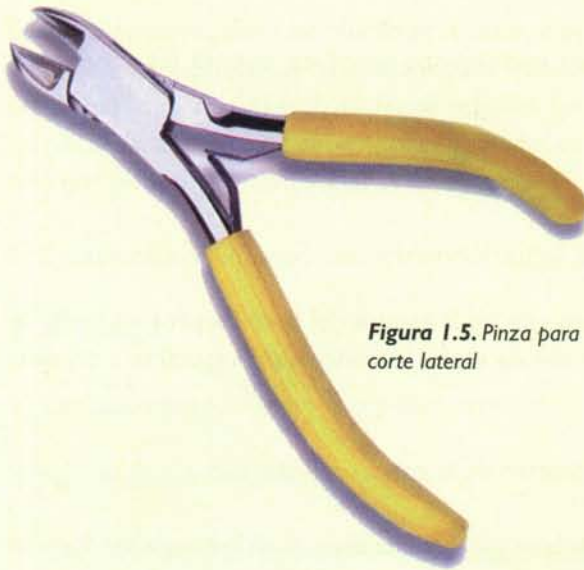


Figura 1.5. Pinza para corte lateral

4. La **pinza pelacables**: tiene en sus mandíbulas unos pequeños agujeros que permiten retirar el aislante de los conductores, alambres o cables, sin dañar la parte conductora o metálica; resulta ser más eficiente que si se retira el aislante con una cuchilla. Hay diferentes configuraciones y modelos que el usuario debe escoger según su gusto o de acuerdo al tipo de trabajo que va a hacer. **Figura 1.6**



Figura 1.6. Pinza pelacables

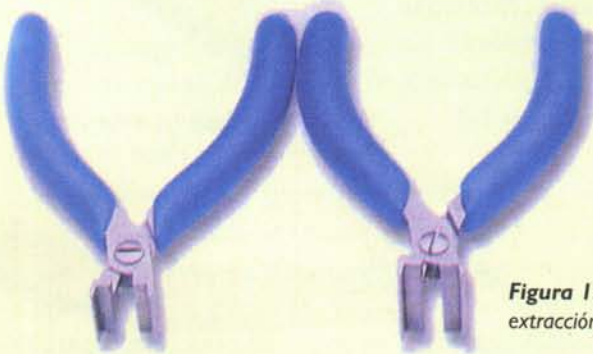


Figura 1.7. Pinza de inserción o extracción

5. La **pinza de inserción o extracción**: se utilizan para insertar o extraer arandelas en algunos tornillos; también para instalar, sostener o extraer circuitos integrados (*chips*) sin dañarlos. **Figura 1.7**

Cuidados con las pinzas

Para su buen uso y la seguridad del usuario, es muy importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Nunca las use como martillo.
2. No aprete o afloje tuercas con ellas.
3. No retire el aislante en conductores de diámetro más grueso que el de la pinza.
4. No corte conductores de diámetro superior al diseñado para la pinza.



Las llaves

Muchos equipos y aparatos electrónicos se arman con tornillos, utilizando atornilladores, y otros, por sus características diferentes, utilizan tornillos pasantes que tienen una tuerca como cabeza y, para apretarlos, requieren de otra herramienta que se conoce con el nombre de llave. Fundamentalmente es una herramienta con la cual se ejerce un esfuerzo o torsión en las tuercas o cabezas de algunos tornillos.

Comúnmente las llaves se fabrican de acero o cromo-vanadio. Se utilizan más de diez tipos de llaves en el trabajo del taller mecánico; sin embargo, para trabajar en electrónica se utilizan generalmente tres tipos de llaves.

Llaves planas o de boca fija. Se les conoce como llaves de dos bocas o aberturas, una en cada extremo del mango en forma de U para ajustarse a dos medidas diferentes de tuercas o de cabezas de tornillo. Comercialmente se encuentran en pulgadas y milímetros. **Figura 1.8**

Llave de boca cerrada, de caja o de copa. Este tipo de llaves envuelve por completo a la tuerca, es menos propensa a deslizarse y producir una lesión. Por estas razones es preferida para un buen número de trabajos. La abertura de la



Figura 1.9 Llaves de copa

boca puede ser un hexágono de seis puntas o doble, es decir de doce puntas, las mismas reciben el nombre de estrías, por esto también se les conoce como llaves de estrías. **Figura 1.9**

Llaves Allen o llave para tornillos sinfin o prisioneros. Son herramientas curvas hechas de una barra hexagonal, con el objeto de que se adapte a los agujeros de la cabeza de los tornillos de seguridad o de cabeza hexagonal. Comercialmente se encuentran desde 1/64 de pulgada hasta 1 pulgada. También se consiguen en milímetros.

En muchas tiendas componentes electrónicos venden juegos de llaves de las ya mencionadas que usted podrá ir adquiriendo para hacer sus trabajos con comodidad y eficiencia. **Figura 1.10**



Figura 1.8. Llaves planas o de boca fija

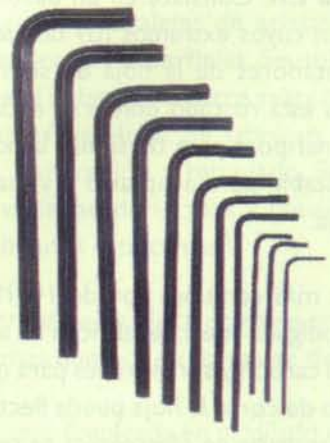


Figura 1.10. Llaves Allen

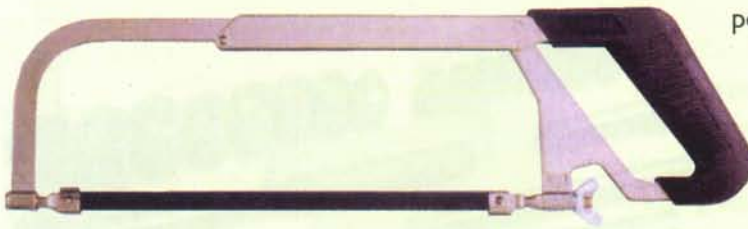


Figura 1.11. Sierra de arco

Cuidados con el uso de las llaves

- Use siempre una llave que se ajuste con exactitud al tornillo o la tuerca. Una llave muy grande se puede resbalar de la tuerca, dañarla y ocasionar un accidente.
- Compruebe siempre que la tuerca esté bien asentada en la boca de la llave.
- Al apretar o aflojar una tuerca, un tirón en seco es más eficaz que un movimiento uniforme.
- Una gota de aceite en las roscas, al instalar un tornillo o tuerca, facilitará su extracción en un futuro.
- Existe una llave de mordazas ajustables, también llamada llave inglesa, que se acomoda a muchas dimensiones de tuercas; no la use porque si la llave se afloja redondeará las aristas de la tuerca, averiándola y producirá un accidente.

Sierra de arco o segueta

Es una herramienta muy utilizada para cortar metales; en electrónica se usa para cortar lámina de circuitos impresos, fibra de vidrio u otros materiales, **figura 1.11**. Consiste en un bastidor metálico o arco en cuyos extremos hay dispuestos unos ganchos sujetadores de la hoja de sierra; uno de sus extremos está roscado donde se encuentra una tuerca tipo mariposa para tensionar la hoja. El bastidor es ajustable para adaptarlo a varias longitudes de la hoja.

Las hojas más comunes son de 14, 18, 24 y 32 dientes por pulgada lineal, se fabrican de acero rápido o acero al carbón y son flexibles para que durante el proceso de corte la hoja pueda flexar y no se rompa. Para trabajar en electrónica se recomienda una hoja de 32 dientes por pulgada lineal, que pro-

porciona un corte fino en materiales como baquelita o fibra de vidrio.

Cuidados con la sierra de arco

- No tensar demasiado la hoja en el arco para evitar la rotura de la misma.
- No aplicar demasiada presión sobre la hoja.
- No cortar demasiado rápido.
- Utilizar la hoja correcta verificando el número de dientes por pulgada para que el corte sea uniforme y pulido.
- Coloque la hoja con los dientes hacia adelante, ya que cuando ésta se impulsa de esta forma, es cuando efectúa el corte. En el retroceso la hoja no corta.

Brocas o mechas

Son herramientas de corte para producir una perforación en una pieza de metal u otro material. Consiste en una pieza cilíndrica de acero, tiene dos filos y dos acanaladuras rectas o helicoidales que constituyen los filos y que dejan escapar las virutas durante el taladrado. La broca en forma helicoidal o en espiral es la más utilizada. **Figura 1.12**

Las brocas o mechas para uso normal se fabrican en acero al carbón. Para trabajos más especializados se fabrican en acero al carbono o acero rápido. Para uso en el taller de electrónica se debe tener un juego de brocas que van desde 1/32 de pulgada hasta 1/2 pulgada.



Figura 1.12. Juego de brocas



Cuidados con las brocas

- Se debe verificar que tenga un buen filo, de lo contrario la broca presentará un embotamiento. ¿Cómo nos damos cuenta de ello? así:
 - La broca penetra en la pieza muy lentamente
 - La broca se calienta mucho
 - La broca produce chirridos o ruidos agudos
 - El orificio terminado tiene una superficie rugosa
- Para taladrar, la broca debe estar en posición vertical, de lo contrario puede partirse.
- Después de utilizada, la broca se debe limpiar y guardar en su caja.

El taladro manual

Es una herramienta diseñada para hacer perforaciones en láminas metálicas y otras superficies; por ejemplo, en electrónica se utiliza para hacer perforaciones en cajas de montaje, tarjetas de circuitos impresos, etc. Todo lo anterior ayudado por un buen juego de brocas.

Comercialmente se venden para ser conectados a la red eléctrica pública, actualmente existen otros que operan mediante baterías recargables muy útiles para trabajar en sitios alejados de la red eléctrica. También existen modelos equipados con velocidad constante o variable, siendo recomendable los segundos ya que se adaptan con facilidad a las condiciones del material que se va a perforar.

Dentro de los tipos de taladros existe uno llamado *moto-tool*, herramienta muy versátil en electrónica, que además del taladrado, puede servir para otras aplicaciones siempre que se tengan los acce-



Figura 1.13. Taladro manual



Figura 1.14. Limas

sorios adecuados; éstas son: perforar, pulir, esmerilar, lijar, grabar, cortar, enrutar, etc. **Figura 1.13**

Cuidados con los taladros

- Trabajar por períodos de tiempo cortos para evitar el recalentamiento en su motor.
- Trabajar en posición vertical el taladro para proteger las brocas y evitar roturas.
- La broca utilizada debe estar bien afilada, de lo contrario el taladro se va a forzar en su trabajo, se va a calentar y puede deteriorarse.

Limas

Son unas herramientas de mano, de acero duro, que tienen filas paralelas de aristas cortantes o dientes sobre sus superficies. Se utilizan para eliminar metal sobrante u otros materiales y así obtener superficies lisas. Se fabrican con acero al carbono, endurecido y templado. Se encuentran en gran variedad de formas y tamaños, cada una para finalidades específicas.

Para trabajos en electrónica se emplean dos tipos de limas que por su forma se denominan:

Lima plana. Empleada en el afilado de algunas herramientas y para producir superficies libres de re-

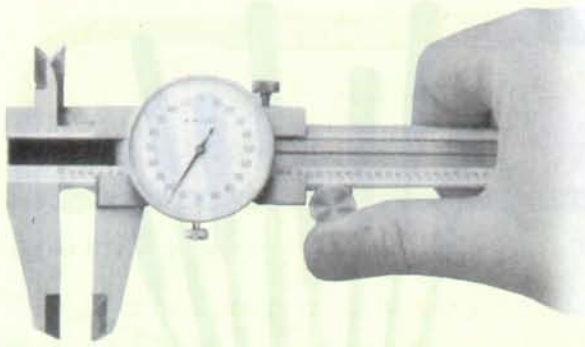


Figura 1.15. Calibrador

babas o rebordes; en el comercio se encuentran en longitudes desde 4 hasta 16 pulgadas. **Figura 1.14**

Lima redonda. Tiene una sección circular y por lo general su forma es cónica. Utilizada para ensanchar orificios redondos, para redondear orificios irregulares y para pulir radios interiores. Igual que la lima plana, se consiguen desde 4 hasta 16 pulgadas.

Por su grado de aspereza o el picado de su superficie se denominan:

Lima basta. Con hileras de dientes gruesos para retirar limaduras o asperezas gruesas.

Lima fina. Con un picado muy delgado para pulir superficies finas.

Cuidados con las limas

- Por seguridad no debe usarse una lima sin su mango, éste puede ser de madera o plástico.
- Use un cepillo de acero para limpiarlas y mantenerlas libres de rebabas y virutas.
- No golpee la lima para retirar las rebabas, son de acero endurecido y se pueden partir.
- No aplique demasiada presión a una lima nueva porque se gastan muy rápido sus superficies cortantes.
- Una lima sólo corta en movimiento hacia el frente, por tanto sólo aplique presión en movimiento hacia adelante y en el retorno aflójela. En el movimiento de retorno con mucha presión puede perder sus filos.
- Hasta donde sea posible trate de asegurar la pieza que va a limar con una prensa o tornillo de banco para evitar accidentes.

Calibrador

También se le conoce como Vernier ó pie de rey y es un instrumento de precisión para comprobar medidas interiores y exteriores. Tiene una mordaza fija y otra móvil graduada en milímetros o en pulgadas. Los calibradores tradicionales requieren para su lectura de alguna operación matemática; sin embargo, en la actualidad existen calibradores de lectura directa análoga o digital que agilizan mucho el trabajo. **Figura 1.15**

El soldador eléctrico o cautín

Es la herramienta que proporciona la temperatura necesaria para efectuar uniones eléctricas mediante una soldadura de estaño. El soldador o cautín juega un papel muy importante para obtener una buena soldadura; por lo tanto, se debe ser muy cuidadoso en el momento de hacer la compra; éste también se complementa con varios accesorios como el soporte y un juego de puntas intercambiables de diferentes formas, según su aplicación.

El soldador consta de una punta de cobre fijada en un tubo metálico dentro del cual está ubicada una resistencia calefactora, la que calienta tanto la punta como el tubo. En una próxima lección del temario de electrónica práctica estaremos dedicando un apartado especial a lo que es la soldadura en electrónica donde explicaremos temas como: tipos de soldadura, el cautín y su manejo, pasos para una correcta soldadura, cuidados y recomendaciones, etc. **Figura 1.16**



Figura 1.16. Soldador eléctrico o cautín

Lección 2

Los instrumentos básicos para mediciones eléctricas

En esta lección vamos a estudiar un tema muy interesante debido a su importancia en la verificación del funcionamiento de los aparatos y los circuitos tanto eléctricos como electrónicos. Los instrumentos básicos para la medición pueden ser análogos o digitales y se utilizan para medir voltaje, corriente y resistencia en corriente continua (CC) y en corriente alterna (CA). En la mayoría de los casos, van montados en tableros o en los paneles frontales de aparatos tales como los multímetros, las fuentes de poder, los estabilizadores de voltaje y otros instrumentos.



Introducción

Un profesional o técnico de la electrónica, además de los conocimientos teóricos y prácticos de su profesión, requiere de un cierto número de instrumentos para poder medir, ajustar, o chequear magnitudes de los diferentes componentes que hacen parte de los circuitos que integran los equipos o aparatos que construye o repara.

Usted puede preguntarse ¿qué es medir? Sencillamente es comparar una magnitud con otra de su misma especie tomada como unidad o referencia. El tema de los aparatos o instrumentos para medida es muy importante, ya que mediante el uso de ellos usted podrá localizar las causas de una operación defectuosa en aparatos electrónicos, en los cuales no es posible apreciar su funcionamiento en una forma visual.

Por tanto, dentro del mundo de la electrónica la medición de las diferentes magnitudes es una tarea fundamental. Dentro de los instrumentos para medida y chequeo que vamos a considerar como fundamentales o indispensables se cuentan: el amperímetro, el voltímetro y el óhmetro.

Un núcleo laminado con forma semicircular (herradura) para lograr una fuerza magnética uniforme en todo el contorno que ha de recorrer la bobina móvil, pues se busca una respuesta lo más lineal posible.

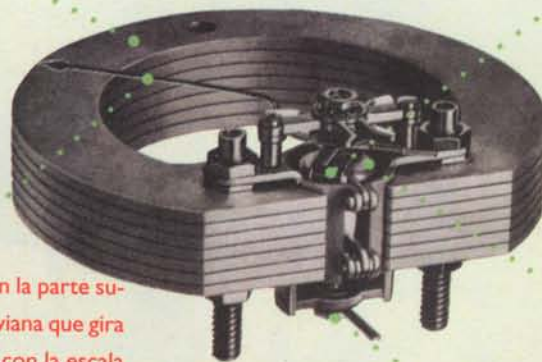
El mecanismo móvil tiene en la parte superior una aguja delgada y liviana que gira sobre una carátula impresa con la escala calibrada, de acuerdo con la cantidad de corriente que circula por la bobina.

Los instrumentos para medida son innumerables y existen varias clasificaciones dependiendo del tipo de corriente que se quiere medir, según el funcionamiento del aparato, según la forma en que se utiliza, según la forma de lectura, o de presentación del resultado final, etc. Todos estos instrumentos se van a conocer a medida que avancemos pues la aplicación y manejo de cada uno de ellos un complemento de los temas que abordaremos durante el curso.

El instrumento básico para medir

El funcionamiento de los instrumentos para medición analógicos o de aguja tiene como base dos de los efectos de la corriente eléctrica como son: el efecto magnético y el efecto térmico. A través de los años se han construido e ideado muchos instrumentos para la medición de la corriente aunque solo vamos a estudiar los que tienen aplicación práctica en la actualidad. Todos los aparatos son de construcción semejante, siendo modificaciones del sencillo instrumento básico llamado Galvanómetro D'Arsonval, que se basa en el efecto magnético de una pequeña corriente. **Figura 2.1.** Las principales partes de un galvanómetro se pueden observar en la figura.

Una bobina móvil de alambre muy delgado está envuelta sobre un pequeño marco rectangular que tiene dos ejes de metal, los cuales, encajan en dos cojinetes para permitir el giro fácil de ella.



Dentro del marco de la bobina móvil hay un cilindro metálico fijo de material magnetizable que, sin rozar con la bobina, recibe la inducción magnética del núcleo y contribuye a concentrarla de manera uniforme en toda el área de ella.

Resorte espiral o pelo.

Figura 2.1. Componentes básicos de un galvanómetro D'Arsonval



Figura 2.2. Medidor fijo

¿Qué es lo que mueve la aguja? La bobina, a la que está unida la aguja se convierte en un electroimán cuando circula corriente en ella, y se comporta como un imán con sus polos norte y sur. Debido a las fuerzas magnéticas de atracción y repulsión, la bobina tratará de girar de modo que los polos diferentes queden tan cercanos como sea posible. La magnitud de la fuerza de rotación dependerá de la fuerza del imán permanente. Al movimiento de la bobina se oponen las fuerzas mecánicas de los resortes en espiral o pelo. Si se aumenta la corriente en la bobina móvil, el efecto magnético de la bobina es más fuerte, por lo que la bobina girará mucho más indicando así el aumento de la corriente en la escala graduada. Cuando la corriente cesa, los resortes regresan la bobina móvil y la aguja a la marca de cero.

Este tipo de medidor sólo funciona con corriente continua y es de por sí de uso muy limitado pues por el alambre delgado de la bobina móvil sólo pueden pasar corrientes muy pequeñas. Los galvanómetros más útiles están graduados para funcionar como miliamperímetros o microamperímetros.

Clasificación de los aparatos para medida

Los aparatos para medida utilizados en electricidad y electrónica se clasifican de diferentes formas así:

1. Según el tipo de corriente que se va a medir.

- Para la medida de corriente continua (CC), en inglés *Direct Current* (DC).
- Para la medida de corriente alterna (CA), en inglés *Alternating Current* (AC).
- Para la medida de ambas corrientes, llamados universales.

Sobre el tablero del aparato debe aparecer el tipo de corriente que permite medir normalmente, DC ó AC.

2. Según la forma en que se utilizan

- **Fijos:** construidos para ser ubicados en paneles o tableros cuando se desea una indicación permanente de una magnitud. **Figura 2.2**
- **Portátiles:** se pueden transportar de un lugar a otro, son usados para hacer mediciones en diferentes lugares. **Figura 2.3**

3. Según la forma de lectura

- **Registradores:** sobre un papel especial y con la ayuda de una aguja trazan curvas que luego pueden ser analizadas. Son muy utilizados en las grandes centrales hidroeléctricas para registrar los voltajes durante las 24 horas del día, o en las industrias para registrar temperatura, presión, etc. **Figura 2.4**
- **Contadores:** registran mediante ruedas numeradas el valor de una medida. Un ejemplo es

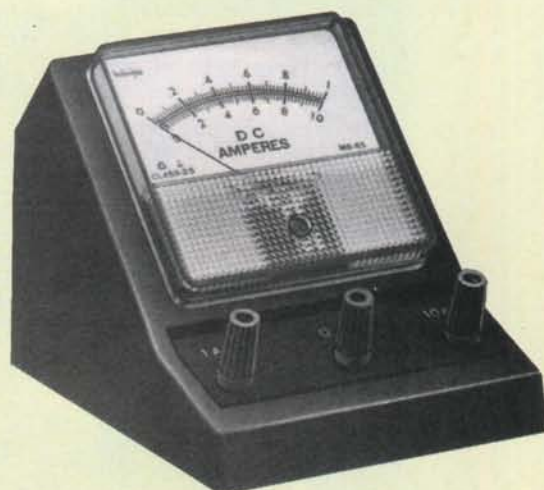


Figura 2.3. Medidor portátil



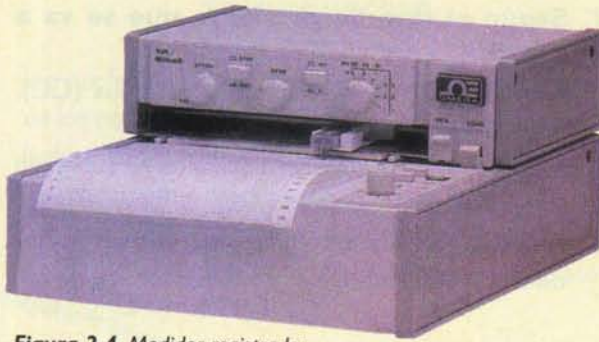


Figura 2.4. Medidor registrador

el medidor que tenemos en nuestras casas para registrar el consumo de energía eléctrica cada mes. **Figura 2.5**

• **Indicadores de aguja o análogos:** señalan el valor de la medición sobre un tablero colocado en su parte frontal; sobre este tablero aparece una escala con una serie de líneas (divisiones) identificadas con unos números para indicar el valor de la medida; son los más utilizados pero tienen algunas desventajas como: lectura no muy exacta, posibilidades de error al hacer la lectura y se deben ajustar a cero cada vez que se va a hacer una lectura. **Figura 2.6**

• **Indicadores de lectura digital:** aprovechan la tecnología digital y por medio de *displays* o pantallas de cristal líquido (LCD) indican los valores de la medición. Tienen ventajas sobre los

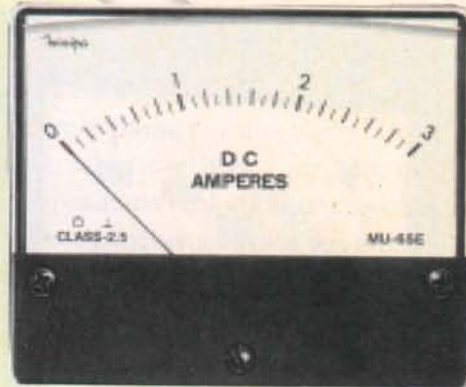


Figura 2.6. Medidor análogo o de aguja

análogos pues la lectura es más fácil, rápida y de gran precisión.

En la actualidad son los preferidos en el mundo de la electrónica. **Figura 2.7**

Como lo mencionamos en la introducción, inicialmente vamos a considerar tres aparatos para medida: el amperímetro, el voltímetro y el óhmetro.

El amperímetro

Es un aparato diseñado para medir la intensidad de la corriente eléctrica o amperaje que circula a través de un circuito eléctrico o electrónico.



Figura 2.5. Contador

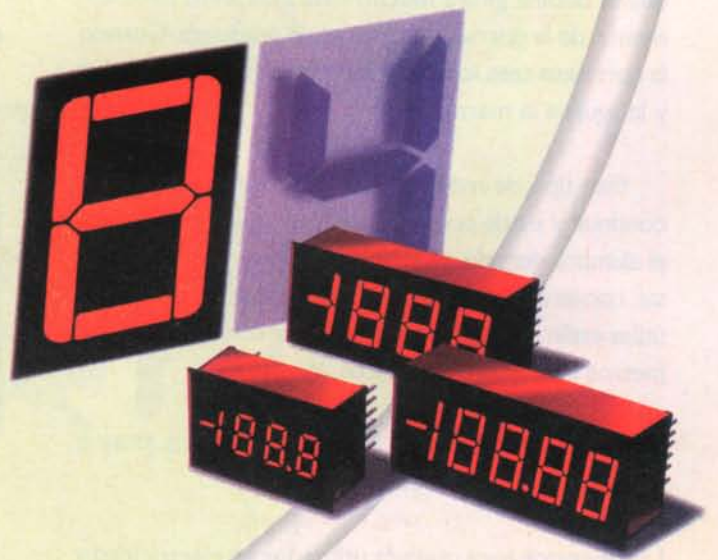


Figura 2.7. Medidores digitales

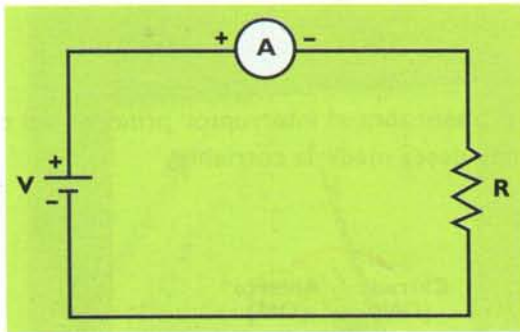


Figura 2.8. Conexión de un amperímetro en un circuito de CC

El objeto que se persigue al utilizar un amperímetro es medir la corriente que pasa por algún componente de un circuito electrónico. Para medir la corriente que circula a través de dicho componente, ésta debe pasar también por el instrumento de medida; por tanto, el amperímetro debe entrar a formar parte de circuito y estar conectado en serie con el elemento que se prueba. **Figura. 2.8**

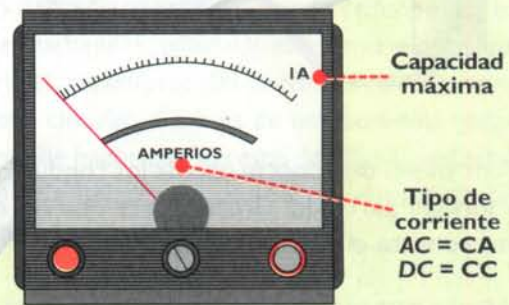
Si ocasionalmente se conectan los dos terminales del amperímetro directamente a los bornes de la batería o a los del componente, se produce un cortocircuito y por lo tanto el instrumento se destruye.

Medición de intensidad

Pasos que se deben seguir para hacer la medición:

Primer paso seleccionar el amperímetro según:

- Capacidad de medida máxima
- Clase de corriente: continua (CC) o alterna (CA)



Partes de un amperímetro con indicador de aguja

Tablero: ubicado en la parte frontal; sobre él aparecen una serie de líneas o divisiones y sobre ellas un número.

Escala: es la serie de divisiones grabada sobre el tablero.

Aguja: es una lámina metálica muy delgada y liviana que gira sobre uno de sus extremos, mientras que con el otro señala el valor de la corriente.



Magnitud que mide el aparato: en este caso **AMPERIOS**; indica que el aparato es un amperímetro y su escala está dada en amperios.

Capacidad de medida: es el valor máximo de medida sobre la escala. La capacidad máxima está localizada en el extremo derecho de la misma.

Tornillo de ajuste a cero: con un pequeño destornillador de pala se ajusta la aguja a cero, operación que se debe hacer para lograr medidas de corriente con buena precisión.

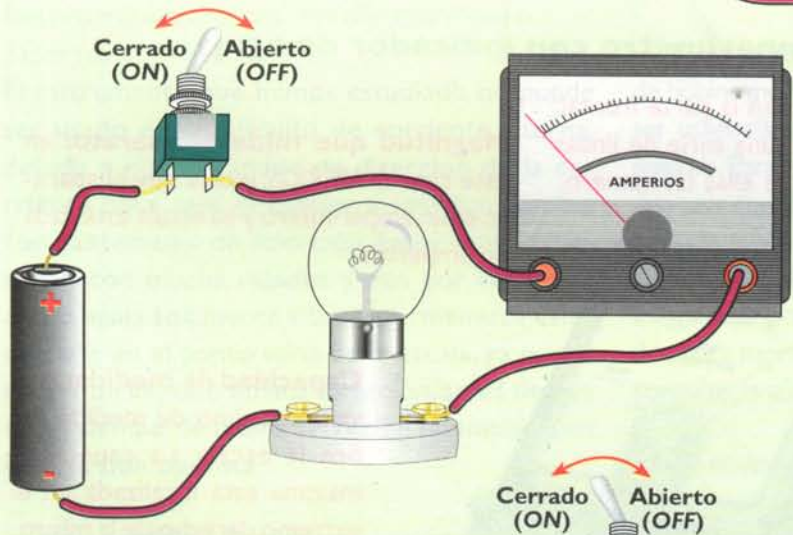
Bornes de conexión: uno de ellos corresponde a la entrada y el otro a la salida de la corriente. Vienen marcados con el signo + y -, cuando se mide corriente continua. El terminal positivo (+) se conecta al punto de entrada de la corriente, y el terminal negativo (-) al de salida; si se conectan en forma errónea, la aguja se desplazará en sentido contrario y puede averiarse el aparato.



Segundo paso: abra el interruptor principal del circuito donde desea medir la corriente.



Tercer paso: desconecte uno de los conductores que forman parte del circuito, para que en este punto conecte el amperímetro.



Cuarto paso: conecte el amperímetro en serie con el circuito, tal como se muestra en la figura. Asegúrese de conectarlo con la polaridad correcta.

Quinto paso: verifique las conexiones y cierre el interruptor principal del circuito. Colóquese frente al aparato de tal manera que usted vea la aguja de frente al tablero. Al efectuar la lectura en la escala debe tener en cuenta los dos números, escritos en ella, entre los cuales se ha detenido la aguja.

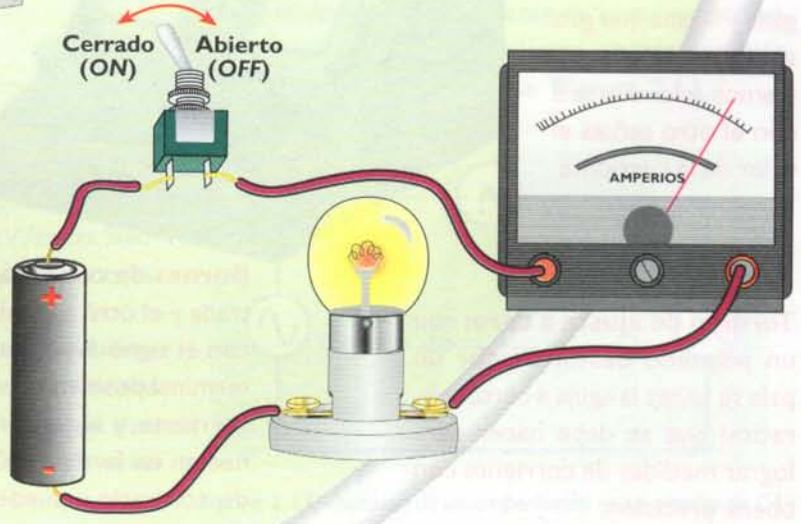




Figura 2.9. Amperímetro del ejemplo

Analizamos un ejemplo:

En la **figura 2.9** observamos un amperímetro con escala de 0 a 5 amperios. Al efectuar la medición, la aguja se ha detenido entre 3 y 4 amperios.

- Si se observa la lectura ella marca un valor superior a 3 amperios, pero menor a 4 amperios.
- Tenga en cuenta la cantidad de espacios o subdivisiones entre 3 y 4. Cuente la cantidad de espacios pequeños entre los dos números.
- Encontró cinco espacios ¿verdad?
- ¿Cuánto valdrá cada espacio?
- Efectúe la siguiente operación: reste del mayor el menor: $4 - 3 = 1$
- Divida el resultado entre la cantidad de espacios: $1 \div 5 = 0,2$ o sea que cada espacio vale 0,2 amperios. Como son 4 los espacios que recorrió la aguja tenemos: 4 espacios \times 0,2 = 0,8 amperios.
- Si al número 3 de la escala se le suma este valor tenemos: 3 amperios + 0,8 amperios. La lectura total será 3,8 amperios.

¿Qué significa conectar el amperímetro en serie?

Si observamos la **figura 2.10**, el amperímetro se ha conectado entre la batería y la bombilla, de la siguiente forma: el terminal positivo (+) de la batería con el borne positivo (+) del amperímetro, y el borne negativo (-) del amperímetro con el borne de la bombilla que no está conectada al terminal negativo (-) de la

batería. Si usted observa con detenimiento, la corriente tiene una sola trayectoria, es decir, sale de la batería, pasa por la bobina del amperímetro, sigue por el filamento de la bombilla y finalmente regresa a la batería. Recuerde que en esta obra hemos adoptado el sentido convencional de la corriente.

Para que usted se familiarice con la **conexión en serie** le damos un ejemplo. En Navidad se emplean unos juegos de pequeñas bombillas para los diferentes arreglos; si una de ellas se funde las demás dejan de encender. Cuando se funde una bombilla cualquiera, produce el mismo efecto que al abrir el interruptor del circuito. Si la corriente no puede circular a través de una bombilla tampoco lo puede hacer por el resto de ellas. Cambiando la bombilla defectuosa se permite el paso de la corriente por todo el circuito.

Podemos concluir que cada aparato conectado en serie debe tener la misma corriente que el resto, porque existe solamente un camino por el cual esta puede circular.

Precauciones y medidas de seguridad con el amperímetro

- Conecte **SIEMPRE** el amperímetro en serie.
- Antes de cualquier medición observe que la aguja esté en cero, si no lo está, póngala en cero usando el tornillo de ajuste correspondiente.
- Utilice la escala adecuada para evitar golpes de la aguja en los extremos de la escala.
- Evite golpear el instrumento, no lo exponga al sol y no lo guarde en lugares húmedos.

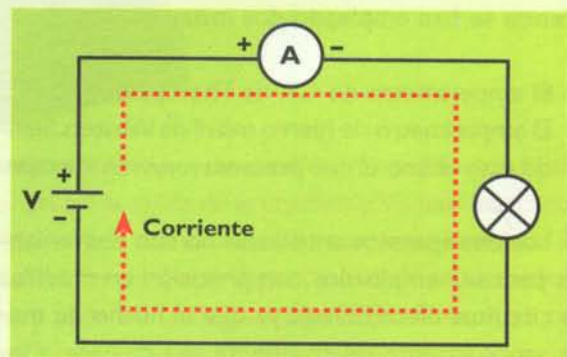


Figura 2.10. Conexión en serie

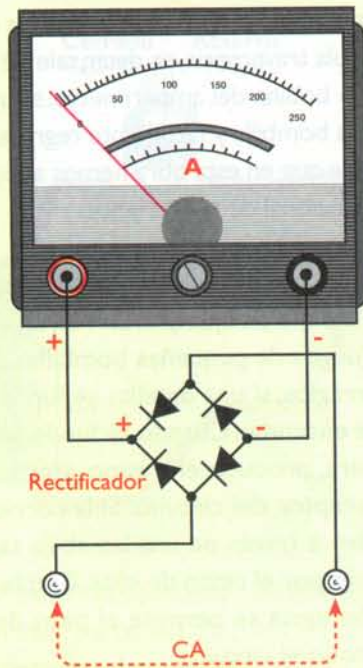


Figura 2.11. Amperímetro con rectificador incorporado

Instrumentos para medir corriente alterna

El instrumento que hemos estudiado no puede ser usado en un circuito de corriente alterna, debido a que el cambio de dirección de la corriente hace que el campo magnético cambie constantemente de dirección. Estos cambios suceden con mucha rapidez y dan por resultado que la aguja solamente vibre y permanezca estacionaria en el punto cero de la escala, ya que al recibir un impulso en una dirección, antes de que tenga tiempo de moverse, recibe un impulso en la dirección opuesta.

En la medición de corriente alterna de baja frecuencia se han empleado dos instrumentos:

1. El amperímetro de CA de Thompson.
2. El amperímetro de hierro móvil de Weston. Siendo éste último el que presenta mayores ventajas.

Los dos aparatos anteriores no son convenientes para ser empleados con precisión en medidas en circuitos electrónicos, ya que el hecho de medir una corriente relativamente alta da lugar a indicaciones inexactas.



Figura 2.12. Diferentes tipos de amperímetros

Las ventajas ofrecidas por los instrumentos para corriente continua (CC), es decir, su alta sensibilidad y bajo consumo de corriente, pueden utilizarse en circuitos de corriente alterna (CA) mediante el empleo de *diodos rectificadores*, que permiten el paso de la corriente en una sola dirección. El tema de los diodos se estudiará en la sección de Componentes. **Figura 2.11**

Estos aparatos comercialmente se conocen como de bobina móvil con rectificador incorporado. Pueden ser usados para frecuencias entre 25 y 60 ciclos por segundo. Para medir corrientes muy elevadas se pueden usar con la ayuda de transformadores de medida. Sus principales ventajas son: la facilidad de lectura, por la forma de sus escalas y su resistencia a los campos magnéticos externos. Estos instrumentos son adecuados para montajes en tableros, paneles de control y consolas de máquinas-herramientas, etc. **Figura 2.12**

Sin embargo, independiente de su construcción, un amperímetro para corriente alterna también debe ser conectado en serie. **Figura 2.13**

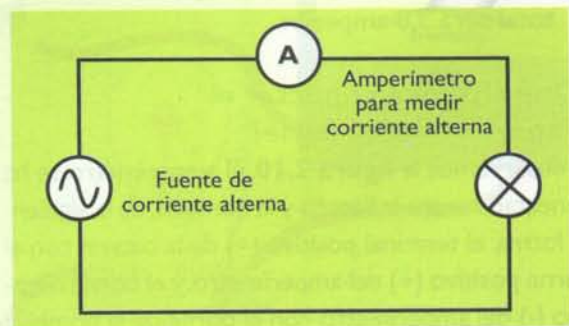


Figura 2.13. Conexión de un amperímetro en un circuito de CA



Figura 2.14. Voltímetros usados en electrónica y sus símbolos

EL voltímetro

Es un instrumento diseñado y utilizado para medir voltaje o tensión eléctrica ya sea de corriente continua o de corriente alterna. Este voltaje se puede encontrar en una fuente de energía eléctrica como una pila, una batería o en un tomacorriente por ejemplo, o entre dos puntos cualquiera de un circuito eléctrico o electrónico.

Su funcionamiento está fundamentado en el instrumento básico que es el amperímetro, el cual, como todos los aparatos de medida análogos, se basa en el galvanómetro de D'Arsonval, ya que es necesario que circule una corriente muy pequeña por una bobina móvil, para que ésta haga mover la aguja sobre la escala. Por tanto, el voltímetro está construido utilizando el mismo sistema electromecánico del amperímetro, es decir, un conjunto formado principalmente por imanes, una bobina y una aguja tal como lo explicamos anteriormente. En el caso del voltímetro, se añade una resistencia en serie con la bobina móvil con el fin de limitar la corriente que circula por ella y así lograr que la aguja se mueva con un recorrido normal dentro de la escala. **Figura 2.14**

El voltímetro se conecta en paralelo con la fuente o con el receptor de la corriente, en este caso una bombilla que actúa como carga. **Figura 2.15**

Dado que el voltímetro tiene una resistencia muy grande, puede hacerse esta conexión en paralelo a través de dos puntos del circuito, sin afectar su funcionamiento. Entre más grande sea la resistencia interna del voltímetro, menor es el efecto que se produce al conectarlo cuando hacemos la prueba. Esto lo explicaremos mejor en otra lección de este curso ya que es muy importante tenerlo en cuenta.

Los voltímetros se fabrican con diferentes rangos o escalas según el voltaje máximo que se vaya a medir con ellos; por ejemplo de 0 a 5V, 0 a 15V, 0 a 30V, 0 a 50V, 0 a 150V, y 0 a 300V, entre otros. Según el tipo de corriente que se va a medir, los hay de dos tipos: de corriente continua y de corriente alterna. Según la forma de montaje también hay diferentes tipos siendo los más conocidos los de tablero y los portátiles, igual que en el caso de los amperímetros. **Figura 2.16**

En el momento de la conexión de cualquier voltímetro, ya sea de corriente continua o de corriente alterna, es necesario conocer aproximada-

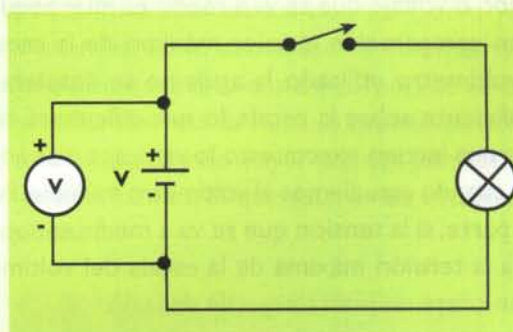


Figura 2.15a. Conexión del voltímetro para medir el voltaje de la pila (fuente)

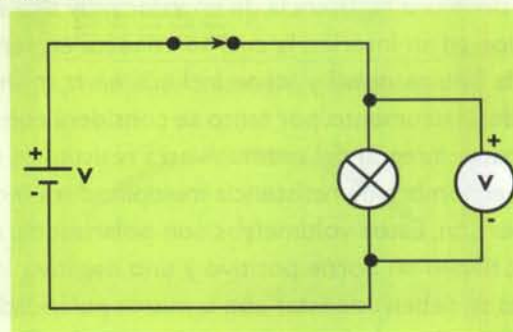
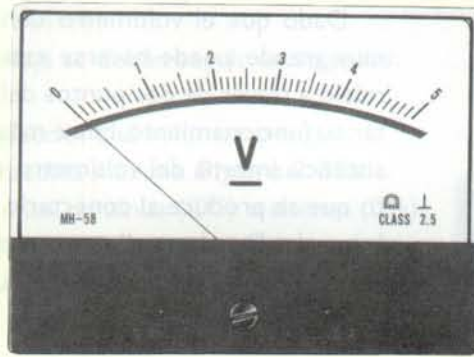
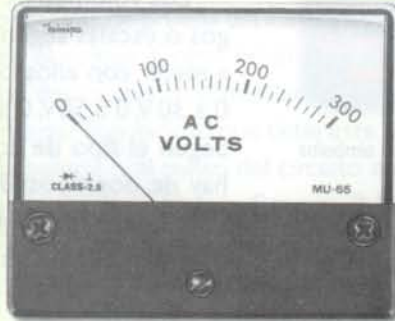
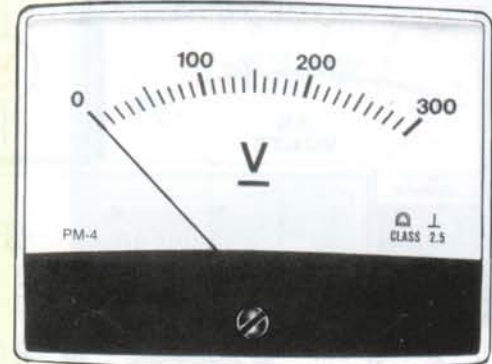


Figura 2.15b. Conexión del voltímetro para medir el voltaje en la bombilla (carga)

Figura 2.16.
Diferentes tipos de
voltímetros



a. Voltímetros de corriente continua para tablero



b. Voltímetros de corriente alterna para tablero



c. Voltímetro portátil de corriente continua

mente el voltaje que se puede encontrar en ese punto de medida con el fin de utilizar un instrumento con la escala adecuada. Por ejemplo, si la tensión o voltaje que se va a medir es muy pequeña, en comparación al valor máximo de la escala del voltímetro utilizado, la aguja no se desplazará lo suficiente sobre la escala, lo que dificultará obtener una lectura exacta; esto lo veremos más adelante cuando estudiemos el voltímetro múltiple. Por otra parte, si la tensión que se va a medir es superior a la tensión máxima de la escala del voltímetro, se corre un gran riesgo de dañarlo.

El voltímetro de corriente continua

Éste tiene una resistencia de un valor muy alto en ohmios en su interior, la cual se conecta en serie con la bobina móvil y viene incluida en la misma caja del instrumento, por tanto se considera como una parte integral del mismo. A esta resistencia se le da el nombre de resistencia multiplicadora o de conversión. Estos voltímetros son polarizados, es decir, tienen un borne positivo y uno negativo los cuales se deben conectar con la misma polaridad a la fuente de voltaje que se está midiendo. Si un voltímetro de CC se conecta en forma invertida,

la aguja se desplazará hacia la izquierda y si el voltaje es muy alto, el instrumento se puede averiar.

El voltímetro de escalas múltiples

Existe un modelo especial de voltímetro de corriente continua el cual, por construcción, tiene varias escalas utilizando el mismo tablero; se utilizan para montajes electrónicos, en reparaciones y en laboratorios de experimentación. Sin embargo, debido a la gran popularidad y el bajo costo que han alcanzado los multímetros (tema que trataremos más adelante), ya no son tan comunes. Su aspecto físico es similar al de los amperímetros múltiples y cuenta con varias resistencias internas para ampliar el rango de medida, y con la ayuda de una perilla selectora, se escoge el rango de medida de cada escala. Por diseño, estas escalas se construyen usando múltiplos unas de otras. **Figura 2.17**

Observando la fotografía, vemos que el voltímetro tiene los siguientes rangos de medida: de 0 a 6V; de 0 a 12V; de 0 a 30V; de 0 a 60V; de 0 a 120V; de 0 a 300V y de 0 a 600V; en total son siete rangos.

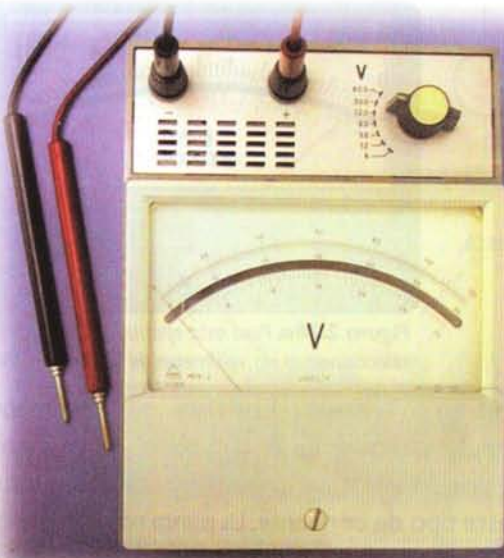


Figura 2.17. Voltímetro múltiple

En el tablero se pueden observar tres escalas:

1. 0 a 30 voltios
2. 0 a 60 voltios
3. 0 a 120 voltios

Mediante la perilla selectora de escalas el usuario puede seleccionar el rango que más le convenga. La selección de la escala para cada caso es muy importante con el fin de lograr la mayor precisión en la medida y evitar daños irreparables en el voltímetro. Por ejemplo: si fuéramos a medir una tensión de 12 voltios y usáramos una escala de 0 a 300V, la aguja indicadora apenas se movería, pues

dentro de la escala 12 voltios sólo corresponden a unas pocas líneas después del cero. **Figura 2.18**

La medida se obtendría con mayor precisión si se hace en la escala de 0 a 30 voltios, ya que en ella se pueden leer los 12 voltios con una mayor claridad. **Figura 2.19**

Si se trata de medir un voltaje alto usando una escala baja, lo más seguro es que se dañe el instrumento si no cuenta con una buena protección, la cual no existe en la mayoría de los voltímetros de tablero. Por ejemplo: si queremos medir un voltaje de 120 voltios y utilizamos la escala de 0 a 30 voltios, estamos sobrecargando el voltímetro y se ocasionarían dos daños casi irreparables en el aparato así:

1. La aguja del voltímetro choca bruscamente en el tope derecho y se puede doblar.
2. Se pueden quemar la bobina móvil y las resistencias de conversión del voltímetro.

Para su empleo normal, el voltímetro de escalas múltiples debe disponer de dos cables o puntas de prueba instalados en sus bornes. Como ya lo mencionamos, en la actualidad el voltímetro de escalas múltiples se encuentra incorporado en otro instrumento de medida llamado **multímetro**, mucho más funcional y de mayor utilidad para un técnico en electrónica, el que estaremos estudiando más adelante.

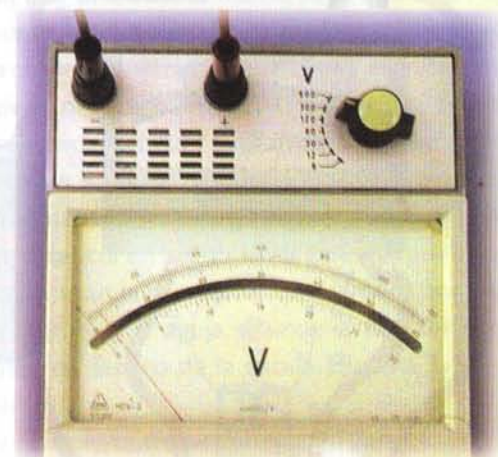


Figura 2.18. Lectura de una tensión de 12V sobre una escala de 300V. Poca precisión

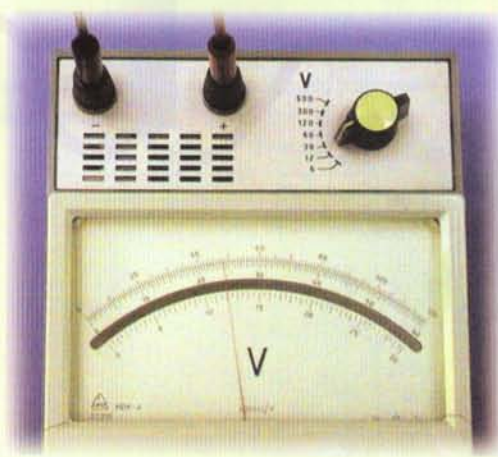


Figura 2.19. Lectura de una tensión de 12V sobre una escala de 30V. Buena precisión

Medida de un voltaje

Para medir un voltaje se deben seguir estos pasos:

Primer paso. Seleccione el voltímetro según:

- Capacidad de medida máxima. **Figura 2.20a**
- Clase de corriente: continua (CC) o alterna (CA)
- La aguja debe estar sobre el cero de la escala; si no lo está, ajústela con el tornillo de ajuste en cero.

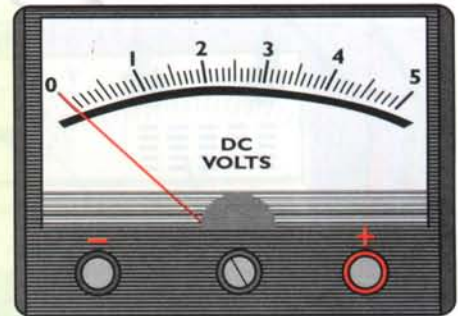


Figura 2.20a. Para este ejemplo, seleccionamos un voltímetro de CC de 0 a 5V

Segundo paso. Coloque las dos puntas de prueba del instrumento en paralelo con el circuito, o el elemento del mismo donde se desea medir el voltaje. Como en el ejemplo vamos a medir un voltaje de corriente continua, tenga en cuenta que las dos puntas o terminales de prueba son generalmente una de color rojo y la otra de color negro, para diferenciar la polaridad que tiene este tipo de corriente. La punta roja se conecta sobre el borne positivo (+) de la batería o el punto del circuito en el cual se va a medir el voltaje y la punta negra se conecta al borne negativo (-) de la batería, **figuras 2.20b** y **2.20c**. Si invertimos la conexión, la aguja del voltímetro no se desplazará de izquierda a derecha; lo hará en sentido inverso sobre el tablero de medida. Esta inversión del movimiento de la aguja la puede dañar o destruir totalmente.

Tercer paso. Efectúe la lectura colocándose frente al instrumento.

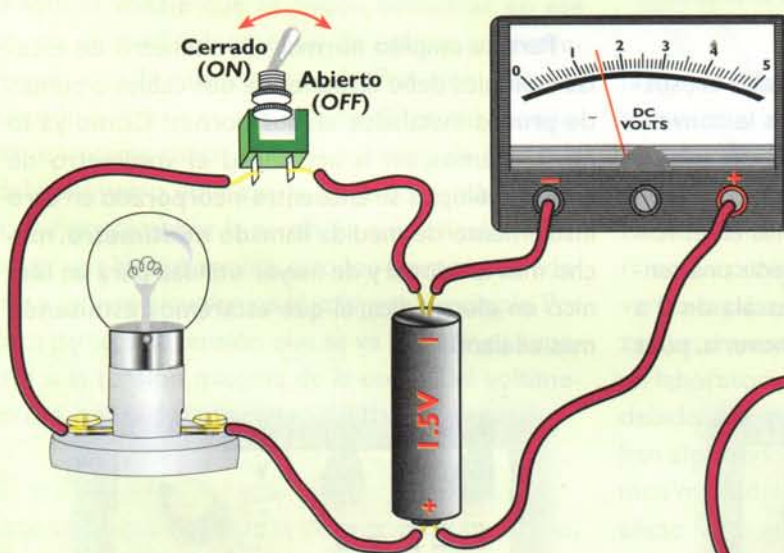


Figura 2.20b. Midiendo el voltaje en la pila con el circuito abierto



Figura 2.20c. Midiendo el voltaje en la bombilla con el circuito cerrado



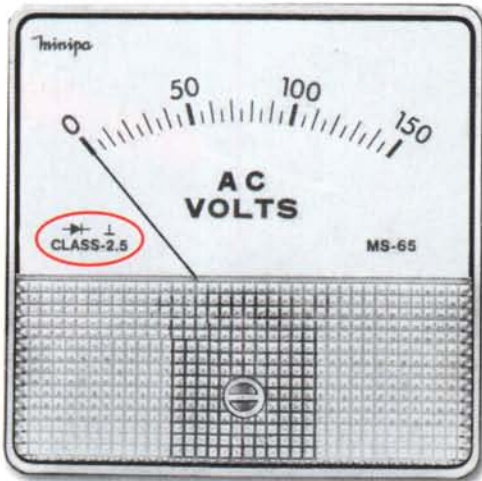


Figura 2.20. El voltímetro de corriente alterna

El voltímetro de corriente alterna

Como lo habíamos expresado en los amperímetros para CA, los voltímetros para CC no pueden ser utilizados para hacer mediciones en circuitos de CA; por tanto, es necesario contar con un sistema de conversión de corriente alterna en continua, llamado *rectificador*, el cual estudiaremos en otra lección y que viene incorporado dentro del aparato, lo que se indica mediante el símbolo de un diodo en el tablero. **Figura 2.20**

La medida obtenida en este tipo de voltímetros se denomina *tensión eficaz*. Este valor eficaz es el que se emplea normalmente en el lenguaje común de la terminología eléctrica. Por ejemplo: si decimos que hay un voltaje alterno de 220 voltios de empleo doméstico o industrial, estamos hablando de la *tensión eficaz*. Éste es un tema muy importante y lo estudiaremos en la lección correspondiente a las características de la corriente alterna.

El óhmetro

Después de haber visto el funcionamiento de un amperímetro y de un voltímetro es importante conocer un tercer aparato básico de medida, nos referiremos al *óhmetro*, instrumento que sirve al técnico electrónico para:

1. Medición o comprobación de las resistencias

2. Probar la continuidad eléctrica en los circuitos
3. Probar el aislamiento o contacto a tierra de un elemento o aparato electrónico.

Se llama *óhmetro* porque su función principal es medir resistencia, cuya unidad de medida es el ohmio. El *óhmetro* es un aparato que tiene en su interior pilas o baterías (que se deben sustituir al cabo de cierto tiempo de utilización), resistencias en serie y una bobina móvil del mismo tipo que se usó en los dos medidores que tratamos anteriormente. La caja del aparato tiene los dos puntos de conexión denominados *bornes*, sobre los que se pueden insertar, ejerciendo una cierta presión, los cables o puntas de medida. El método que emplea el *óhmetro* para medir el valor de una resistencia es muy simple: consiste en hacer circular la corriente de la pila interna por dicha resistencia haciéndola pasar a través del sistema de medida (bobina y aguja). Como el voltaje que suministra la pila es fijo, la corriente que circulará por la resistencia que se va a medir sólo dependerá del valor de la misma; por tanto la intensidad de esta corriente indicará directamente el valor en ohmios que estamos buscando.

El *óhmetro* dispone de una sola escala graduada de derecha (0Ω) a izquierda (este símbolo ∞ significa infinito), y de un *selector* o interruptor giratorio que permite cubrir todos los valores de resistencias que se dan en la práctica, con la precisión requerida. Si solo contáramos con una escala en el tablero para hacer la medida de todas las resistencias, se podrían presentar valores comprendidos entre un ohmio y los cincuenta megaohmios o más; por tanto sería imposible en la práctica, leer sobre la escala, ya que debería tener miles de divisiones. Por lo tanto, se ha dividido todo este amplio margen de valores en varios rangos de medida, diferentes en su número, según la calidad, precisión y por lo tanto, el precio del aparato.

Estos rangos de medida están señalados sobre el selector de la forma siguiente:

$R \times 1 =$ para medir unidades y decenas

$R \times 10 =$ para medir decenas y centenas

$R \times 100 =$ para medir centenas y millares

$R \times 1000 =$ para medir millares y decenas de millar

Figura 2.21



Figura 2.21. Selector de escalas

Las mejor precisión se obtendrá en las lecturas comprendidas entre el cero (0) y el cien (100) de la escala. **Figura 2.22**

Midiendo resistencias

Pasos que se deben seguir:

1. Antes de usar el óhmetro para medir el valor de una resistencia es necesario *calibrarlo*. ¿Qué es calibrar el óhmetro? Es lograr que la aguja se desplace exactamente entre cero ohmios y el infinito, así:

a. Calibrar la aguja en la posición infinito (∞): es cuando la aguja está en reposo. Esto se logra después de colocar el óhmetro en una posición horizontal o vertical (de acuerdo a como lo indique el fabricante). La calibración se hace con el tornillo que está ubicado en la mitad del aparato; con un pequeño destornillador de pala lo giramos lentamente hasta poner la aguja sobre el símbolo de infinito (∞). **Figura 2.23**

b. Calibrar la aguja en el cero que está a la derecha sobre la escala: esto se consigue tomando los dos terminales de prueba ya instalados en los bornes del aparato y uniéndolos entre sí por sus puntas metálicas (en cortocircuito); la aguja deberá desplazarse desde su posición de reposo hasta una



Figura 2.22. Escala del óhmetro

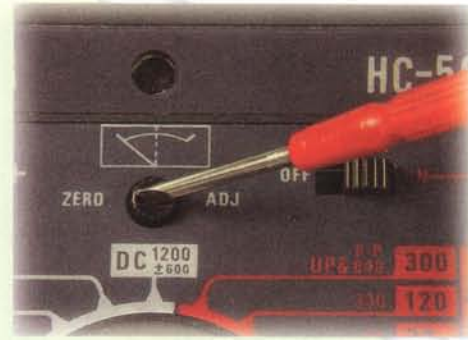


Figura 2.23. Calibrar la aguja en ∞

zona próxima al cero; a continuación se mueve una perilla llamada “de ajuste” hasta lograr que la aguja se detenga exactamente sobre el cero de la derecha; a partir de este momento, el óhmetro se encuentra listo para hacer la medida. **Figura 2.24**

Nota: se debe tener en cuenta que si es necesario cambiar la posición del selector, es decir, cambiar de escala, es preciso repetir la operación de calibración del cero a la derecha.

2. Separe las puntas de prueba y llévelas a los extremos de la resistencia que se va a medir, haciendo una pequeña presión con los extremos de las puntas de medida sobre los terminales



Figura 2.24. Calibrar la aguja en 0



Figura 2.25. Midiendo una resistencia

de la resistencia o el componente que se quiere chequear. La aguja del instrumento marcará un valor en la escala, el cual debe multiplicarse por el valor que señala el selector. **Figura 2.25**

3. En el caso de que la resistencia que se desea comprobar se encuentre sobre un circuito, hay que tener la *precaución de desconectar* cualquier alimentación de corriente eléctrica que exista en éste, ya que provocaría una corriente adicional a la propia del óhmetro y la lectura de la resistencia sería incorrecta. Además el aparato se podría averiar si esta corriente es demasiado alta. **Figura 2.26**
4. Si la resistencia que se va a medir está unida eléctricamente con otra resistencia o cualquier

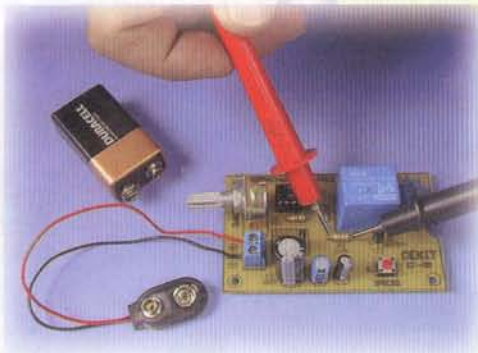


Figura 2.26. Midiendo una resistencia sobre un circuito sin energía

otro elemento, se alterará la medida, ya que parte de la corriente empleada por el óhmetro circulará inevitablemente por ellos, obteniéndose un resultado con un valor inferior al real; por lo tanto y para mayor seguridad, es recomendable desmontar el componente y probarlo en forma aislada. **Figura 2.27**

Midiendo continuidad

Un segundo uso del óhmetro, de mucha importancia en electricidad y en electrónica, es la medida de *continuidad*. ¿Qué es continuidad? Es algo que no tiene interrupción, es decir, que fluye en forma continua o que no está separado físicamente.

Muchos componentes empleados en electricidad y en electrónica se ven bien en apariencia. Por ejemplo: un conductor eléctrico (alambre o cable), cuando está forrado o aislado, a simple vista no se sabe si tiene continuidad o está interrumpido. Lo mismo puede suceder con un fusible, el filamento de una bombilla, las bobinas de un transformador, las resistencias de aparatos electrodomésticos, interruptores, conectores etc. El óhmetro nos permite hacer este chequeo, así:

1. Cerciórese de que el elemento que se va a medir no esté conectado a ningún tipo de corriente.
2. Coloque el selector en la escala $R \times 1$ ó $R \times 10$. Para esta medida no es absolutamente necesario calibrar el cero de la derecha porque no vamos a tomar valores exactos de resistencia.
3. Tome las puntas de prueba (roja y negra) y colóquelas sobre los extremos del componente que se va a chequear. Si la aguja del óhmetro se mueve



Figura 2.27. Midiendo una resistencia sobre un circuito con una extrema desconectada



Figura 2.28a. Midiendo continuidad en un fusible. La aguja marca cero ohmios o sea que está bueno



Figura 2.28b. Midiendo continuidad en un fusible. La aguja marca infinito o sea que está malo

es porque existe continuidad y por tanto el elemento está bueno; si la aguja no se mueve no hay continuidad. Si es un fusible, éste debe ser reemplazado por uno bueno; si es un conductor y no hay continuidad, se debe cambiar. **Figura 2.28**

Midiendo fugas de aislamiento o contacto a tierra

¿Qué son fugas de aislamiento o contacto a tierra? En muchas ocasiones se dan contactos de conductores desnudos sobre la estructura metálica interna de un electrodoméstico, aparato de medida, equipo industrial, etc. La persona que maneja estos aparatos queda expuesta a sufrir un choque eléctrico si llega a tocar su estructura o caja metálica después de conectar a la energía eléctrica el aparato.

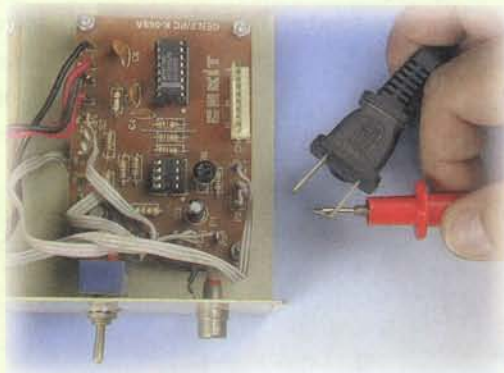


Figura 2.29. Midiendo contacto a tierra. La punta de prueba de color rojo en uno de los conductores de alimentación

Los pasos que se deben seguir para medir fugas de aislamiento son los siguientes:

1. Observe que el equipo que se va a chequear no esté conectado a la energía eléctrica.
2. Coloque el selector en Rx1 ów Rx10. No es absolutamente necesario calibrar el cero derecho del óhmetro.
3. Tome las puntas de prueba y colóquelas así:
 - a. La punta roja de prueba sobre uno de los conductores de alimentación del equipo que se va a probar. **Figura 2.29**
 - b. La punta negra se coloca haciendo contacto con el chasis o caja metálica en un sitio donde no tenga pintura (la pintura es

aislante). Si es necesario raspe un poco en alguna parte de la caja para obtener un buen contacto. **Figura 2.30**

Si la aguja se mueve, existe un contacto a tierra; si no se mueve, el conductor que se está probando está bueno. Como los conductores de alimentación son dos, cambie la punta roja del óhmetro al otro conductor que no ha probado y tenga en cuenta las dos posibilidades anteriores así:

- Si la aguja del óhmetro se mueve, hay contacto a tierra; si no se mueve, el conductor está bueno.
- Si existe contacto a tierra es necesario abrir el equipo y hacer la reparación necesaria.

En una próxima lección abordaremos el tema del multímetro, donde retomaremos nuevamente lo relacionado con el óhmetro, ya que éste hace parte de este instrumento.



Figura 2.30. Midiendo contacto a tierra

Lección 3

El multímetro

El multímetro es el instrumento más común entre los equipos de medida usados hoy en día en electrónica; éste nos permite hacer las medidas más frecuentes y necesarias en los circuitos eléctricos y electrónicos como son voltaje, resistencia, continuidad, y corriente. Por lo tanto, es recomendable que este instrumento no le falte al técnico o al aficionado dentro del grupo de herramientas y equipos necesarios para efectuar todo el conjunto de medidas de comprobación y ajuste, fundamentales para una correcta puesta a punto de un aparato averiado o en proceso de diagnóstico. Además, es necesario aprender a manejarlo correctamente con el fin de aprovechar su utilidad.





Figura 3.2. Aspecto de un multímetro análogo

piadas, dependiendo de la función que se va a medir. Para poder tomar las medidas, el aparato conecta en su interior un conjunto de resistencias que ayudan a cada tipo de medida. Todo el conjunto va montado sobre una tarjeta de circuito impreso. La perilla selectora cumple con dos funciones. Por un lado, selecciona la función (voltímetro, óhmetro, amperímetro) y por el otro el rango de medida. Para este último propósito cuenta con varias escalas con el fin de obtener la mejor precisión en cada escala y magnitud. Girando esta perilla,

podemos seleccionar al mismo tiempo la función y el rango de medida de la misma. Por ejemplo, en la **figura 3.3**, la perilla está ubicada en la función para medir voltaje en CA y en la escala de 120 voltios. Por otra parte, todas las medidas en la escala de resistencia requieren que sobre el componente o circuito que se va a comprobar se haga circular cierta corriente, la cual será la encargada de mover la aguja. Esta corriente ha de ser suministrada por el instrumento por medio de las pilas o baterías que se encuentran en su interior, las



Figura 3.3. Posición para medir voltaje en corriente alterna

cuales será necesario sustituir después de cierto tiempo de uso.

- b. Dos, tres o cuatro puntos de conexión, denominados clavijas o bornes (hembra), en los cuales se puede insertar, ejerciendo una cierta presión, la clavija (macho) de las puntas de prueba.
- c. Dos cables, uno de color rojo y otro de color negro llamados **puntas de prueba**, usados para hacer las mediciones. Son de dos colores para permitir diferenciar la polaridad de los puntos que se van a medir, sobre todo si se trata de medida de voltaje o corriente continua.
- d. Perilla para calibrar el ajuste en cero en la función para medir resistencia. Su funcionamiento lo explicaremos más adelante.

Como usted puede observar, en el cuadro inferior existen una serie de siglas que son tomadas del idioma inglés. Su significado es el siguiente:

Inglés	Español	
DCV	VCC	Voltaje en corriente continua
ACV	VCA	Voltaje en corriente alterna
DC mA	CC mA	Corriente continua en miliamperios
COM	COM	Clavija común
ADJ	Ajuste	Ajuste en cero voltios
Polarity	Polaridad	Para invertir polaridad en CC
Power	Interruptor de encendido y apagado	

Lo primero que se debe hacer antes de efectuar cualquier medida, es leer detenidamente el manual del aparato e identificar cada una de sus partes prin-

cipales. Primero que todo hay que asegurarse que las puntas de prueba estén conectadas en el sitio correcto. Para ello se deben revisar con detenimiento las letras y símbolos que hay junto a cada borne.

Además, es importante saber que los multímetros existentes en el mercado varían considerablemente en su tamaño, aspecto físico, número de escalas y funciones, costo, calidad, etc., según la marca, modelo y precisión. Si usted entiende bien el manejo del modelo del multímetro que vamos a tratar enseguida, no tendrá ningún problema para conocer después el manejo de cualquier otro modelo.

Por esta razón, lo invitamos a seguir con toda la atención posible la explicación que sigue y no perder detalle alguno en los procedimientos examinados. **Un buen manejo del multímetro es una de las principales habilidades que debe adquirir y mantener todo estudiante, técnico y profesional en electrónica.**

Cuidados con el multímetro

1. Si el instrumento tiene interruptor de encendido y apagado, cuando termine de usarlo siempre déjelo en la posición de apagado.
2. Sustituya periódicamente las pilas o baterías que se encuentran en el interior del instrumento. Si en la escala de resistencia, no es posible calibrar 0Ω con la perilla de calibración, es señal de que las pilas deben ser reemplazadas.
3. Cada vez que se quiera hacer una medida, cerciórese de que la perilla selectora de funciones se encuentre en la posición adecuada. De lo contrario, se pueden causar daños que en la gran mayoría de los casos, dejan el instrumento inservible.
4. También, antes de tomar una medida, asegúrese de que las puntas de prueba estén en buen estado.
5. Como la corriente continua tiene polaridad, positiva (+) y negativa (-), las puntas de prueba se deben conectar de modo que la roja vaya al borne positivo y la negra al negativo. De lo contrario la aguja se desplazará bruscamente hacia el lado opuesto de la escala y se puede dañar el mecanismo de bobina móvil.

Funcionamiento del multímetro análogo

A continuación explicaremos cada una de las funciones de nuestro multímetro análogo modelo y la forma de utilizarlo, como óhmetro, voltímetro y amperímetro. Antes de efectuar cualquier medida con un multímetro, es muy importante leer primero el manual del instrumento y familiarizarse con su operación.

Funcionamiento como óhmetro

Por medio de esta función podemos medir el valor de la resistencia, en ohmios, de resistencias, bobinas, alambres, etc. así como efectuar pruebas de continuidad y de aislamiento. Para la medición de resistencias, nuestro multímetro modelo ofrece 6 rangos, identificados como **x1**, **x10**, **x100**, **x1K**, **x10K** y **x1M**. Como veremos más adelante, el valor real de una resistencia se obtiene multiplicando el valor indicado por la aguja en la escala de ohmios (OHM) por el indicado en el rango. Por ejemplo, si la aguja marca **5** y el selector de rango está en **x10K**, la resistencia medida es $5 \times 10K = 5 \times 10.000 = 50.000 \Omega$, es decir $50K\Omega$.

A continuación aprenderemos a utilizar el multímetro como óhmetro para la medida de continuidad y resistencia. **En ambos casos, es absolutamente necesario que el componente o circuito bajo prueba esté desenergizado, es decir, desconectado de la fuente de alimentación.**

Medida de continuidad

Se llama **continuidad** a una medida de resistencia muy baja, lo que indica generalmente la existencia de una unión directa entre dos puntos. La medida de continuidad es un procedimiento muy común en electricidad y electrónica, especialmente para diagnosticar averías y probar componentes como fusibles, cables, lámparas, parlantes, pistas de circuito impreso, etc. Para efectuar una prueba de continuidad con el multímetro modelo, siga estos pasos:

1. Sitúe la perilla selectora de rango en la posición **x1** ó **x10**.

2. Cercíese que el componente o circuito bajo prueba esté completamente desenergizado.
3. Asegúrese que el cable de prueba negro esté conectado en el borne marcado **COM** - y el cable de prueba rojo esté conectado en el borne marcado **V-Ω-A**, figura 3.4. En algunos multímetros, este último se marca con el signo **+**.
4. Conecte entre sí los extremos de las puntas de prueba. La aguja debe moverse de izquierda a derecha, casi hasta el fondo de la escala.
5. Con las puntas de prueba unidas, gire lentamente la perilla de ajuste en cero, rotulada como **0Ω ADJ**, hasta que la posición de la aguja coincida con la marca **0** sobre la escala de ohmios (**OHMS**), figura 3.5. Si no es posible conseguir esta calibración, es porque las baterías del instrumento necesitan reemplazo.
6. Conecte las puntas de prueba a través del componente o circuito cuya continuidad se desea comprobar. En la figura 3.6 se muestra, como ejemplo, la medida de la continuidad de una bombilla de 6V, y en la figura 3.7 la medida de la continuidad de una pista de circuito impreso. Puesto que la función de esta última es unir dos o más puntos, la misma deberá tener una **continuidad** eléctrica, es decir una resistencia muy baja, idealmente cero ohmios. Por esta razón, la aguja se detiene en la posición **0 Ω**. Cualquier interrupción será detectada por el instrumento, ya que la aguja no se moverá o la hará muy levemente, indicando que el elemento bajo prueba está abierto o tiene una resistencia muy alta.



Figura 3.4. Colocación de las puntas de prueba



Figura 3.5. Calibración en cero del instrumento

En el caso de la bombilla, figura 3.6, la lectura corresponderá a la resistencia interna del filamento. Si la aguja no se mueve, significa que el filamento está abierto y, por tanto, la bombilla está inservible. Algunos modelos de multímetros análogos indican la continuidad de una manera audible, utilizando para ello un zumbador (pito), el cual emite un sonido cuando la resistencia del elemento que se prueba tiene un valor por debajo de 100Ω .

Medida de resistencia

La resistencia, como sabemos, es una medida de la oposición que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica. Esta función es muy importante ya que nos permite conocer el valor específico en ohmios de componentes como resistencias, alambres, bobinas de motores, transformadores, relés, etc. Para efectuar una medida de resistencia con el multímetro modelo siga estos pasos:



Figura 3.6. Medida de continuidad de una bombilla

1. Sitúe el selector de rango en la posición más adecuada para el valor de resistencia que espere medir. En nuestro caso, asumiremos que se va a medir una resistencia de carbón cuyo valor nominal es 100Ω . Por ahora, situaremos inicialmente la perilla selectora en la posición **x1**.

Nota. El valor nominal de las resistencias de carbón viene marcado sobre su cuerpo siguiendo un código de colores preestablecido, el cual estudiaremos en otra lección. Para una resistencia de 100Ω , en particular, la secuencia de colores es marrón-negro-marrón. Adicionalmente, estas resistencias traen una cuarta banda, generalmente de color dorado, que indica su **tolerancia**, es decir el rango de valores alrededor del valor nominal dentro del cual se encuentra el valor real de la resistencia. El color dorado significa **5%**, lo que indica que el valor real de la resistencia debe estar entre 95Ω y 105Ω .

2. Repita los mismos pasos **2, 3, 4, y 5**, seguidos en la prueba de continuidad para calibrar en cero.
3. Conecte las puntas de prueba a través del componente cuya resistencia se desea comprobar, **figura 3.8**. En nuestro caso, la aguja se detiene aproximadamente sobre la marca 100Ω de la escala. Para encontrar el valor real de la resistencia, en ohmios, simplemente multiplicamos 100Ω por **1**, que es el factor de escala del rango seleccionado (**x1**), obteniendo $100\Omega \times 1 = 100\Omega$.



Figura 3.7. Medida de continuidad en una pista de un circuito impreso



Figura 3.8. Medida de una resistencia de 100Ω

Sitúe ahora el selector de rango en la posición **x10**. Repita los pasos para calibrar la aguja en 0, conecte las puntas de prueba a través de la resistencia e interprete la lectura obtenida. Ahora, la aguja debe detenerse en la marca 10 de la escala o muy cerca de ella, por ejemplo **9,6**. Para encontrar el valor real de la resistencia, multiplicamos el valor leído (9,6) por 10, que es el factor de escala del rango seleccionado ($\times 10$), obteniéndose $9,6 \times 10 = 96\Omega$ que es un valor más preciso que el anterior.

Midamos ahora una resistencia de 1.000Ω , figura 3.9, manteniendo el selector de rango en la posición **x10**. Al tomar la lectura sobre la escala se obtiene un valor de 100Ω . Como la perilla selector está en **x10**, tenemos $100\Omega \times 10 = 1.000\Omega$. En general, cada vez que se cambia la posición del selector de rango, debe repetirse la secuencia de calibración en cero de la escala. Como regla práctica, escoja siempre un rango que provoque el desplazamiento de la aguja hacia la parte central de la escala, donde las medidas son más precisas.

Funcionamiento como voltímetro para corriente continua (CC)

La medición de voltajes en CC es una de las funciones básicas de un multímetro, debido a que la mayor parte de los circuitos electrónicos operan a partir fuentes de alimentación, pilas o baterías de CC. Para la medición de voltajes en CC, nuestro multímetro modelo ofrece 8 rangos, identificados

como 0.3V, 1,2V, 3V, 12V, 30V, 120V, 300V y 1.200V sobre el sector del selector marcado como **DCV**. Como ejemplo, consideremos el caso de medir el voltaje de una batería de 9V. Para hacerlo, siga estos pasos:

1. Asegúrese que el cable de prueba negro esté conectado en el borne marcado **COM (-)** y el cable de prueba rojo esté conectado en el borne marcado **V-Ω-A**. De lo contrario, la aguja se desplazará bruscamente en sentido opuesto de la escala y se puede averiar.
2. Sitúe la perilla selector de rango en la posición de **12VDC**. Si se coloca en una escala menor, la aguja sobrepasará el rango y puede dañarse. En el caso contrario, en una escala muy grande (por ejemplo 120V), la aguja no alcanzará un desplazamiento considerable y su lectura se hará difícil y poco precisa.
3. Sitúe el interruptor de polaridad, marcado como **POLARITY**, en la posición **+**.
4. Conecte la punta de prueba negra al lado negativo del elemento o circuito bajo prueba y la punta de prueba roja al lado positivo del mismo, figura 3.10. Interprete la lectura de la misma forma como la haría con un voltímetro de CC.

Funcionamiento como voltímetro para corriente alterna CA

Las fuentes de voltaje en corriente alterna son también muy comunes en el mundo eléctrico y electrónico. Por ejemplo, los tomacorrientes de nues-



Figura 3.9. Medida de una resistencia de 1.000Ω



Figura 3.10. Medida del voltaje de una batería de 9 voltios

tros hogares y los transformadores de alimentación de los aparatos electrónicos, son fuentes de CA. Por esta razón, los multímetros también incorporan la función de medida de voltajes en CA.

Para este propósito, nuestro multímetro modelo ofrece 6 rangos, identificados como 3V, 12V, 30V, 120V, 300V y 1.200V sobre el sector del selector marcado como **ACV**. Las mediciones se hacen siguiendo el mismo procedimiento que para voltajes en CC. En este caso no es importante la posición de las puntas de prueba, puesto que la corriente alterna no tiene polaridad. Como ejemplo, consideremos la medición del voltaje disponible en un multitoma o tomacorriente múltiple de 120VCA, **figura 3.11**. En este caso, la perilla selectora debe colocarse en 300ACV (voltios CA). La lectura se interpreta en la misma forma que con un voltímetro de CA. Si la lectura obtenida es inferior a 120V, la perilla selectora se puede pasar a la escala de 120 ACV para obtener un valor más exacto.

Funcionamiento como amperímetro para medida de intensidad en CC

La medida de intensidades en corriente continua es muy común en electricidad y electrónica para estimar el consumo de potencia de circuitos completos o partes de ellos. Para esta función, nuestro multímetro proporciona 5 rangos: uno identificado como 0,1 μA y los otros cuatro como **0,3**, **3,30** y **300** sobre el sector del selector marcado como **DCmA**. Las mediciones se efectúan e



Figura 3.11. Medida de voltaje en CA

interpretan de la misma manera que con un amperímetro para CC, es decir conectando el instrumento en serie con la carga o circuito que se quiere medir. **Figura 3.12**

Asimismo, se debe conservar la polaridad, es decir la punta de prueba roja va al lado positivo del circuito bajo prueba (en este caso la batería) y la punta de prueba negra al lado negativo (en este caso un borne de la bombilla).

Si no se conoce el valor de la corriente que se espera obtener, puede colocarse inicialmente la perilla selectora en la posición más alta, en nuestro caso **300 DCmA**. Si el valor medido es muy bajo y la aguja se mueve muy poco, podemos entonces pasar a la escala más baja siguiente, y así sucesivamente hasta lograr que la lectura final sea lo más fácil de establecer en forma precisa.

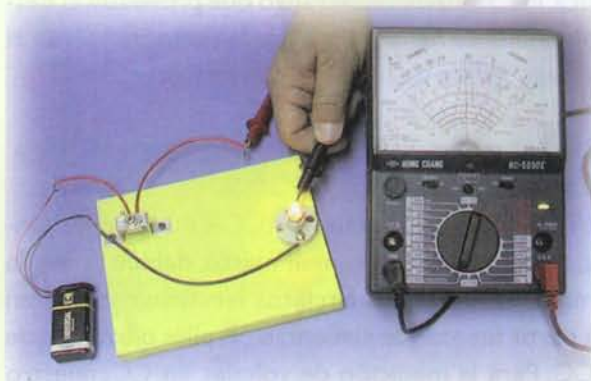


Figura 3.12. Circuito con amperímetro en serie

El multímetro digital

Como lo mencionamos al comienzo de la lección, hay dos grandes grupos de multímetros: los análogos y los digitales. Estos últimos, los más utilizados actualmente, se diferencian de los análogos en que el tablero de lectura y la aguja indicadora del cuadro superior se han reemplazado por una pantalla, generalmente de cristal líquido (LCD), en la cual aparece directamente el valor de la magnitud medida en forma de números o dígitos, lo cual facilita ampliamente su apreciación por parte del usuario y brindan una mayor precisión, logrando inclusive decimales. **Figura 3.13**

Hoy en día los multímetros digitales son quizás los instrumentos electrónicos más populares en el mercado, encontrándose modelos de una gran variedad en cuanto a su calidad y lógicamente a su precio, **figura 3.14**.

Igual que los multímetros análogos, los digitales tienen dos partes principales: el cuadro superior, que en este caso se reduce a una pantalla con varios dígitos, y el cuadro inferior que incluye la perilla selectora de rangos y funciones, y las clavijas o bornes para las puntas de prueba. En la **figura 3.15** se muestra un modelo típico. Esta estructura puede variar de un modelo a otro pero siempre se conservan los elementos básicos. Los multímetros digitales también incluyen una batería para alimentar sus circuitos



Multímetro digital

Multímetro análogo

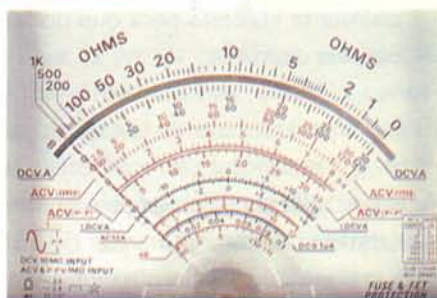


Figura 3.13. Pantalla de un multímetro digital y el tablero y aguja de un multímetro análogo



a. Tipo lapicero



b. De bolsillo



c. Con interfaz a la computadora



Figura 3.14 Diferentes tipos de multímetros digitales

internos y para hacer circular una corriente cuando se están midiendo ohmios. Por el bajo consumo de corriente, éstas tienen una larga duración; sin embargo hay que estar pendientes del estado de su carga ya que si se baja su voltaje, las medidas serán erróneas. Muchos multímetros digitales incluyen un sistema de detección de “batería baja” que es muy útil para este propósito.

Precauciones con los multímetros digitales

Antes de estudiar como se toman medidas las diferentes, veamos algunas consideraciones que hay que tener con este tipo de multímetros con el fin de protegerlos de posibles daños y medidas erróneas.

1. Manténgalo apagado cuando no lo esté utilizando. Esto le da una mayor duración a la batería. Si el instrumento se va a guardar por un largo periodo, lo más indicado es retirar la batería ya que esta se puede descomponer y los ácidos que se desprenden lo pueden averiar.
2. Guárdelo en un sitio limpio y seco pues la humedad puede afectar su funcionamiento. No es recomendable exponer el instrumento a la luz solar directa ni a una alta temperatura.
3. Si lo guarda en una caja de herramientas, debe estar protegido por un estuche para que ellas no lo golpeen y se rompa la pantalla. Si el ins-

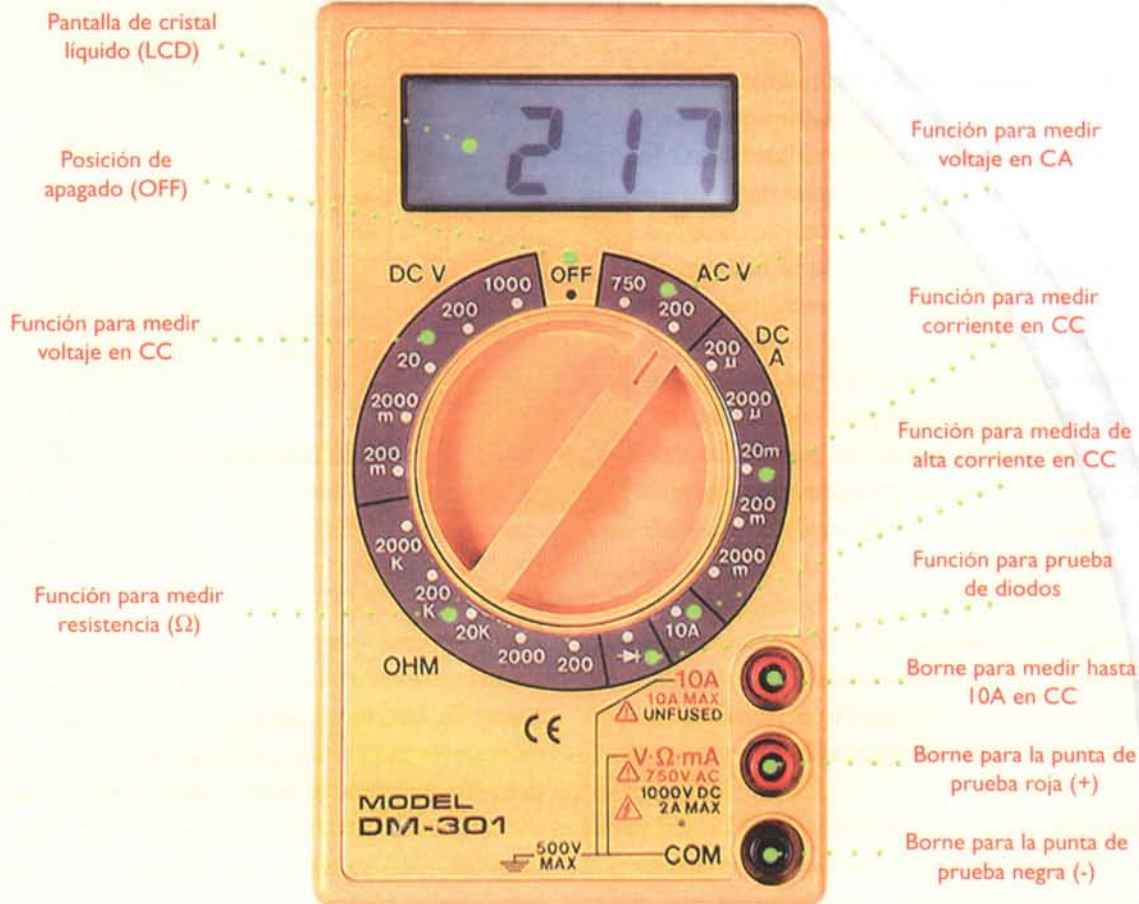


Figura 3.15. Aspecto físico y funciones de un multímetro digital típico

- trumento no lo incluye, usted mismo puede fabricar uno con icopor y una caja de cartón.
4. Antes de tomar cualquier medida, fíjese muy bien en la posición correcta de la perilla selectora, ya que, un error en esta operación puede dañar definitivamente el instrumento. Ésta es la principal causa de averías en este tipo de multímetros ya que un voltaje o una corriente más altos que la escala seleccionada, o una alta corriente circulando cuando se está midiendo resistencia (Ω), dañará los circuitos internos. Algunos modelos, especialmente los más costosos, incluyen protecciones de sobrevoltaje y sobrecorriente, pero esto no es lo más común. Los multímetros, por lo general, son aparatos difícilmente reparables ya que sus componentes no se consiguen normalmente en el mercado.
 5. Cuando hay diferentes bornes o clavijas para algunas medidas, generalmente para alta corriente, se debe conectar la punta de prueba en la posición correcta y luego devolverla a su posición

normal (V- Ω -mA). La punta de prueba negra debe estar en el borne negativo (-) generalmente marcado COM o con el símbolo de tierra (\perp), y la punta de prueba roja debe estar en el borne positivo (+) generalmente marcado como V - Ω - mA.

6. Cuando vaya a cambiar de rango, es muy recomendable desconectar una de las puntas de prueba del circuito o elemento que se está midiendo.
7. Trate con cuidado las puntas de prueba ya que estas se suelen deteriorar si no lo hace. Especialmente cuídelas para que no hagan contacto con los cautines.

Funcionamiento y operación del multímetro digital

Antes de utilizar cualquier otro multímetro, se debe leer detenidamente el manual de instrucciones.

Funcionamiento como óhmetro

Con esta función podemos medir resistencias, bobinas



Figura 3.16. Medida de una resistencia de 2.200 Ω

nas, conductores, fusibles, lámparas, conductores, etc. Nuestro modelo tiene cinco escalas: 200, 2.000, 20K, 200K y 2.000K las cuales se deben seleccionar de acuerdo al valor en ohmios de la resistencia que se va a medir. Recuerde que para esta medición es indispensable que el elemento al cual se le va a determinar la resistencia debe estar desenergizado o desconectado de la fuente de alimentación. Antes de medir resistencias debemos verificar la lectura de 0Ω , la cual se debe lograr uniendo las puntas de prueba.

Para medir el valor en ohmios (Ω) de una resistencia, ya sea del tipo utilizado en electrónica, la de las bobinas, la de una estufa o la de una lámpara, seleccione el rango o escala apropiados y conecte las puntas de prueba a los terminales del elemento. En ese momento debe aparecer el valor en la pantalla (*display*) tal como se muestra en la **figura 3.16**. Si el valor es más alto o más bajo que el del rango seleccionado, mueva la perilla selectora, dentro de la función para ohmios, hasta que se logre la medida más precisa posible.

Medida de continuidad

Para hacerlo lleve la perilla selectora a la escala más baja en ohmios (en este caso a 200), y conecte las puntas de prueba al conductor, lámpara, fusible, pista de circuito impreso, bobina, etc. y verifique su valor el cual debe estar muy cercano a los cero ohmios (0Ω). Algunos modelos incluyen un probador de continuidad visual y audible, el cual se selecciona en una posición especial para este fin en la perilla selectora, **figura 3.17**.

Funcionamiento como voltímetro para corriente continua (DCV)

Determine primero cual es el valor aproximado que se va a medir pues así se establece la posición correcta para la perilla selectora con la cual se logra una mayor precisión de la medida. En nuestro modelo hay cinco rangos: 200 mV, 2.000 mV o 2V, 20V, 200V y 1.000V. Si no se conoce el valor que se va a medir, lo más recomendable es empezar con la escala más alta e ir bajando el rango con cuidado hasta obtener una lectura precisa.

Para tomar la medida, conecte la punta de prueba negra al punto negativo y la punta de prueba roja al positivo, **figura 3.18**. En ese momento debe aparecer en la pantalla el voltaje presente en ese punto de prueba ya sea un circuito interno, una batería, una fuente de alimentación, etc. Si las puntas se conectan al contrario, el multímetro nos indicará un valor negativo. Nunca trate de medir voltajes superiores al del máximo rango, en este caso de 1.000 VCC. Tenga mucho cuidado de no unir las puntas de prueba, especialmente en sitios críticos como en los puntos cercanos de un circuito impreso, ya que puede ocasionar fácilmente un cortocircuito.

Funcionamiento como voltímetro para corriente alterna (ACV)

Para esta función nuestro modelo tiene dos rangos: 200V y 750 V. Seleccione el rango apropiado según la medida y conecte las puntas de prueba en cualquier posición ya que la corriente alterna no

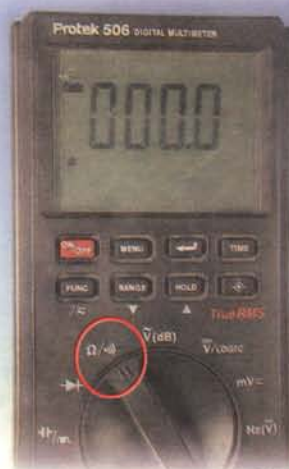


Figura 3.17. Función especial para prueba de continuidad en algunos multímetros digitales



Figura 3.18. Medida de voltaje en corriente continua

tiene polaridad. En este momento debe aparecer la medida en la pantalla, **figura 3.19**. Como en esta función se trabaja con valores altos, generalmente de 110 ó 220 V, tenga mucho cuidado de no unir o tocar las puntas de prueba ya que esto ocasionaría cortocircuitos graves, o lo que es peor, usted corre un gran riesgo de electrocución.

Funcionamiento como amperímetro para corriente continua (DCA)

Como ya lo mencionamos, la medida de la corriente en amperios (A), miliamperios (mA) o microamperios (μA) que consume un aparato completo o un circuito dentro de él o aún un componente de un circuito, es una operación que se hace con frecuencia en electrónica. En este caso los multímetros digitales son de gran utilidad ya que nos pueden mostrar cantidades muy precisas incluyendo decimales, que

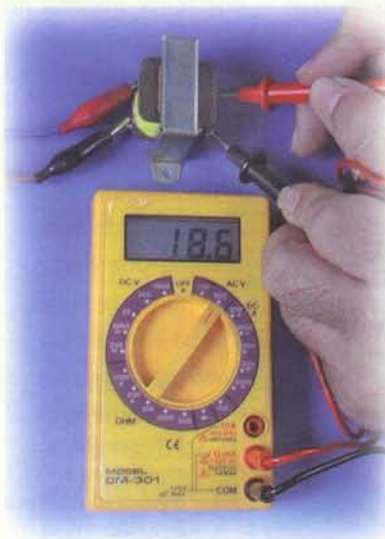


Figura 3.19. Medida de voltaje en corriente alterna en el secundario de un transformador

es lo que se puede presentar en la práctica. En nuestro modelo tenemos seis rangos: 200 μA , 2.000 μA (2 mA), 20 mA, 200 mA y 2.000 mA (2A). Además, existe un rango especial de 10 A en el cual se coloca la perilla selectora en una posición aparte y se cambia la punta de prueba roja o positiva a un borne de alta corriente marcado como 10 A. Si utiliza esta opción, no olvide devolver la punta de prueba roja a su posición normal (V - Ω - mA).

Recordemos que la medida de la corriente se debe hacer en serie con el elemento. Por eso en algunos casos, como en la medida del consumo de corriente de un componente dentro de un circuito, éste debe desconectarse con el fin de aplicar las puntas de prueba al punto de la medición, **figura 3.20**. Para el ajuste de la perilla, si se conoce el valor que se va a medir, ésta debe posicionarse en un rango ligeramente mayor. Por ejemplo, si vamos a medir una corriente de 150 mA, la perilla debe colocarse en el rango de 200 mA. Si no se conoce el valor, se debe colocar en el rango mayor disponible, en este caso 2.000 mA, e ir bajando el rango hasta lograr una lectura lo más precisa posible.

Otras funciones

Algunos multímetros digitales incluyen otras funciones tales como la prueba de diodos, transistores, bobinas, condensadores, medida de frecuencia, generación de señales de prueba, etc. Estas opciones las iremos estudiando a medida que tratemos cada tema. Si desea conocer más sobre esto y observar en la práctica el manejo de los multímetros le recomendamos el video de CEKIT "Manejo del multímetro analógico y digital".

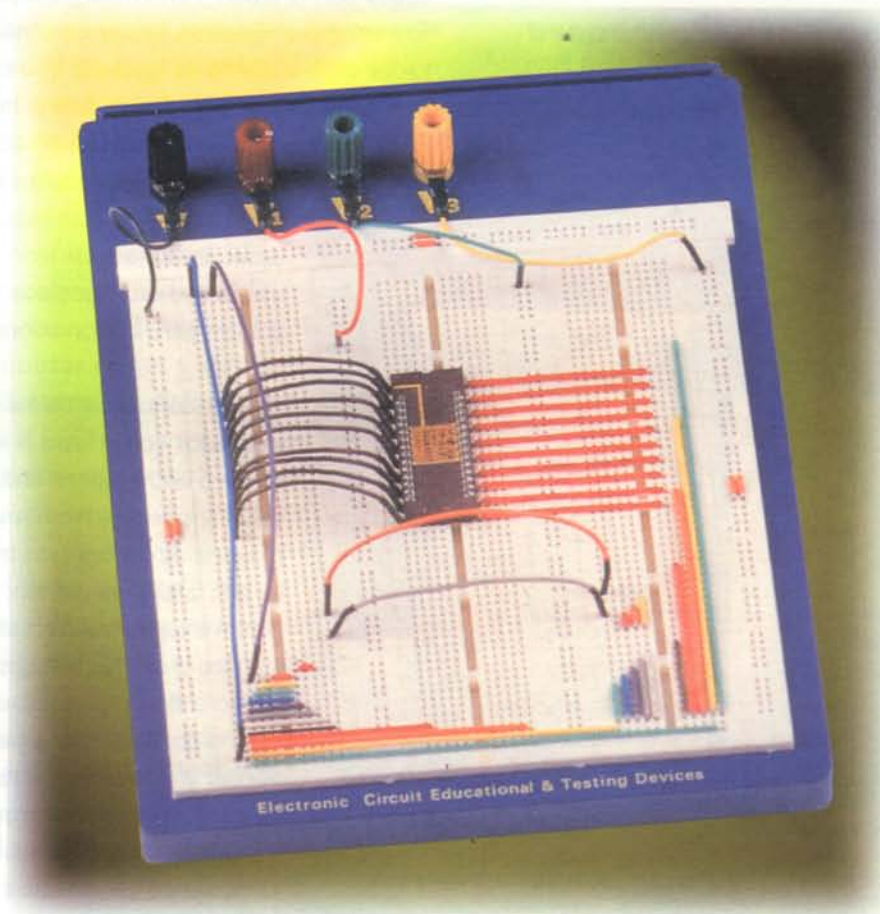


Figura 3.20. Medida de la corriente que circula por un componente dentro de un circuito

Lección 4

El tablero para prototipos (protoboard)

El tablero para prototipos o tablero para conexiones es un dispositivo muy ingenioso que nos permite armar y desarmar fácil y rápidamente cualquier circuito electrónico sin necesidad de soldaduras, y muchas veces sin herramientas. En electrónica, esto es muy útil durante el proceso de aprendizaje para hacer experimentos y proyectos en forma provisional.



Este dispositivo es muy útil para el diseño de nuevos proyectos y productos, inclusive los más complejos, ya que es necesario y muy recomendable ensamblar un prototipo o circuito de prueba antes de proceder al diseño y elaboración del circuito impreso definitivo. Al tener el circuito montado en el *protoboard*, es posible cambiar o agregar componentes en cuanto a su valor o posición, con el fin de lograr los resultados esperados con el diseño. Esto se hace tanto a nivel de estudiantes como de técnicos y de profesionales, ya que en la práctica muchas veces hay que hacer algunos cambios al circuito que se había planteado inicialmente.

En el proceso de fabricación de un proyecto o aparato es muy importante este paso, puesto que los siguientes, como el diseño y fabricación de los circuitos impresos y del *chasis* o bastidor para montar el proyecto, implican una inversión importante de tiempo y dinero que se podrían perder si el aparato al final no funciona.

Estructura del *protoboard*

Aunque hay muchos modelos en el mercado, algunos de los cuales se muestran en la **figura 4.1**, todos los

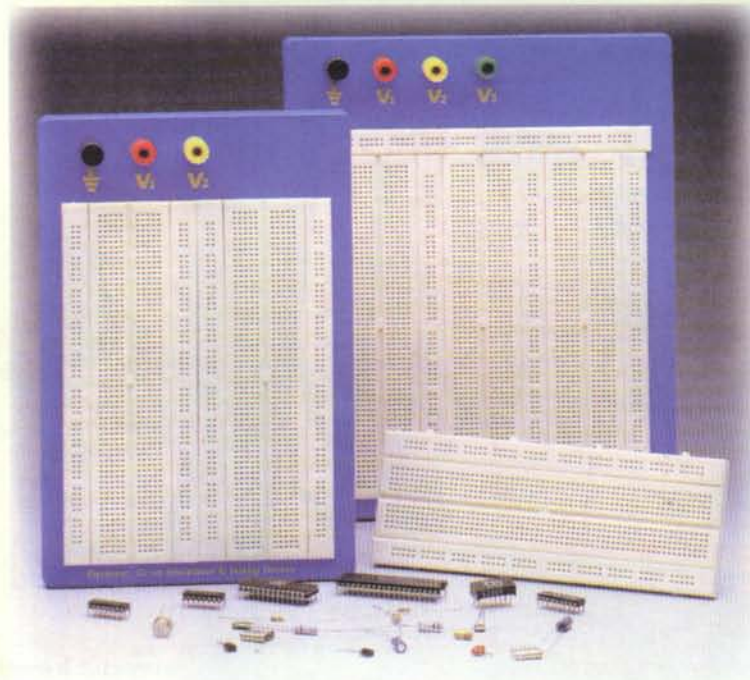


Figura 4.1. Diferentes modelos de *protoboards*

tableros tienen una estructura básica muy similar pues su principio de operación es muy simple. Ésta consiste en una serie de conexiones verticales y horizontales organizadas de tal forma que sobre ellas se pueden instalar todo tipo de componentes como resistencias, condensadores, semiconductores, cables de conexión y otros. Estas conexiones están protegidas por una cubierta de plástico que a su vez, proporciona los orificios por los cuales se insertan los terminales de los componentes. **Figura 4.2**

Los contactos están separados entre sí por una distancia de 0,1" (2,54 mm), correspondiente a la separación de los pines o terminales de los circuitos integrados, principales componentes de los circuitos electrónicos actuales. Para hacer las uniones entre puntos distantes de los circuitos se utiliza cable sólido calibre 22 aislado o no aislado (cable telefónico), como explicaremos más adelante. Como se puede observar en la **figura 4.3**, las filas tienen cinco orificios que se conectan entre sí en forma vertical, marcados con la letra A; sin embargo, entre cada fila no hay contacto. Además, existe un canal central separador cuya distancia es igual a la que existe entre las filas de terminales de los circuitos integrados 0,3" (7,62 mm). Esto con el fin de ubicar sobre dicha separación todos los circuitos integrados que tenga el circuito. Las líneas verticales no están unidas a cada lado del canal central, lo que establece dos áreas independientes para las conexiones del circuito.

Los contactos de las filas externas, marcados con la letra B en la figura 4.2, se unen entre sí pero en forma horizontal y reciben el nombre de buses. La mayoría de los tableros traen dos buses a cada lado y se utilizan, generalmente, para manejar en ellos la alimentación del circuito o sea los voltajes positivo y negativo o tierra. En total, el tablero tiene cuatro secciones: dos para los componentes y dos buses horizontales. En la figura 4.3 se pueden apreciar las diferentes conexiones disponibles para el ensamblaje de los circuitos.

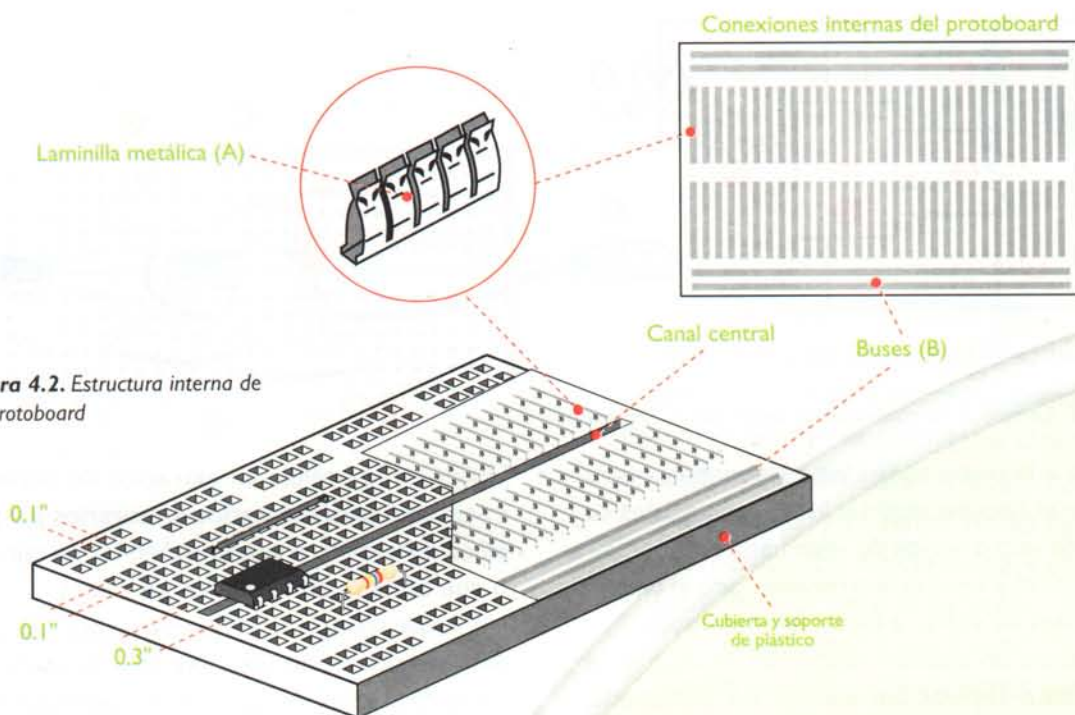


Figura 4.2. Estructura interna de un protoboard

Estos tableros están formados por una base de plástico que tiene una serie de perforaciones con una disposición especial. Debajo de estas perforaciones se encuentran unas laminillas metálicas que forman contactos, en donde se unen los diferentes terminales de los componentes del circuito. Estas laminillas se fabrican con un metal flexible de berilio-cobre recubierto con plata-níquel, y en algunos casos de oro. El recubrimiento impide que los contactos se oxiden y la flexibilidad del metal permite utilizar cables y terminales de diferente diámetro, sin deformarse.

Para entender mejor esta estructura, veamos como ejemplo el montaje de un circuito sencillo en un *protoboard* pequeño, **figura 4.4**. En ella podemos apreciar como algunas de las conexiones se hacen por medio de los contactos del *protoboard*, los cuales también sirven como soporte físico para los componentes. Antes de entrar en detalle sobre la forma de utilizar correctamente este útil dispositivo, veamos algunas consideraciones importantes sobre él.

Recomendaciones para armar circuitos en un protoboard

Aunque no existen reglas definidas para el ensamblaje de circuitos en un *protoboard*, y cada persona puede armar un prototipo según sus gustos y habilidades, se deben tener en cuenta algunos aspectos básicos con el fin de que el proyecto trabaje bien y sea fácil de modificar en un momento dado. Dichos consejos son:

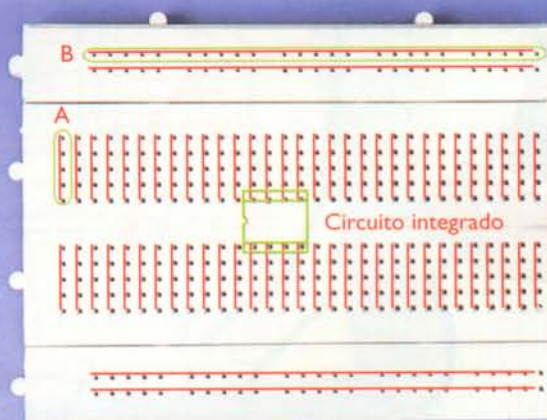


Figura 4.3. Conexiones disponibles para el ensamblaje de los circuitos

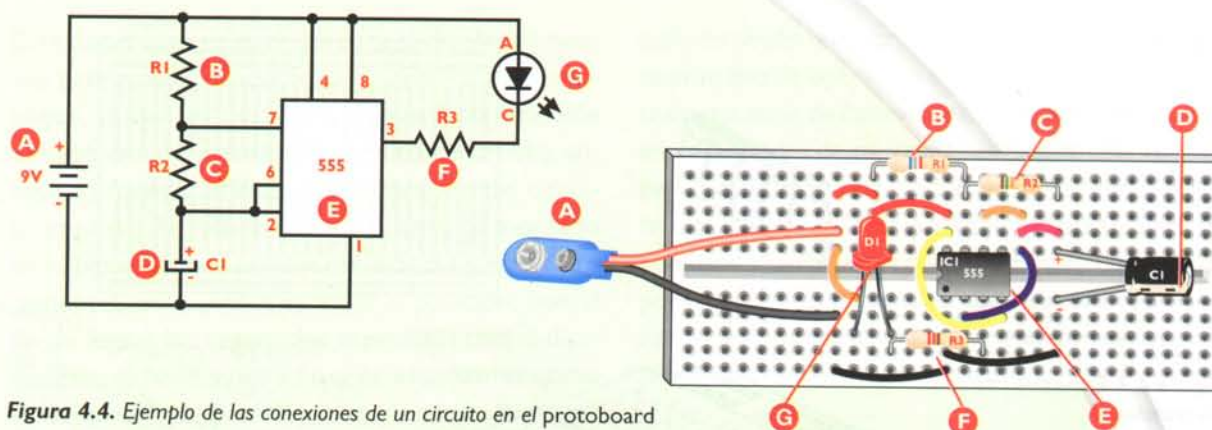


Figura 4.4. Ejemplo de las conexiones de un circuito en el protoboard

- Tenga a la mano todos los componentes para armar el circuito, según la lista de materiales. La falta de uno o varios de ellos haría interrumpir el proceso y tendría que reparar todo el diagrama antes de volver a iniciar el ensamblaje.
- Haciendo un análisis rápido del espacio, deje suficiente separación, aunque no demasiada, entre estos elementos para que el ensamblaje de los demás componentes se pueda hacer sin problemas. Muchos componentes en un espacio reducido dificultan este proceso.
- No corte demasiado los terminales de los componentes como las resistencias y los condensadores, ya que algunas veces hay que cambiarlos de posición y éstos no podrían conectarse en el nuevo sitio.
- Utilice en lo posible un extractor de circuitos integrados para colocarlos o retirarlos del protoboard. Así evitará que se dañen los terminales o que éstos se entierren en sus dedos.
- No instale sobre la superficie elementos que produzcan mucho calor; éstos pueden derretir la cubierta de plástico y dañar en forma permanente el tablero. Tal es el caso de resistencias de potencia o semiconductores que disipen mucho calor; ellos se deben instalar a una buena altura o fuera de la base utilizando cables conectados a sus terminales.
- Nunca inserte en los contactos del protoboard cables o componentes cuyos terminales tengan un diámetro mayor al de los orificios del protoboard; esta es la principal causa de daños. Para solucionar el problema, suelde cables delgados y cortos a los terminales gruesos de los componentes. **Figura 4.5**
- En lo posible, no utilice el protoboard para circuitos de corriente alterna de alto voltaje (110 o 220V), ya que el aislamiento no es suficiente y se pueden generar cortocircuitos.

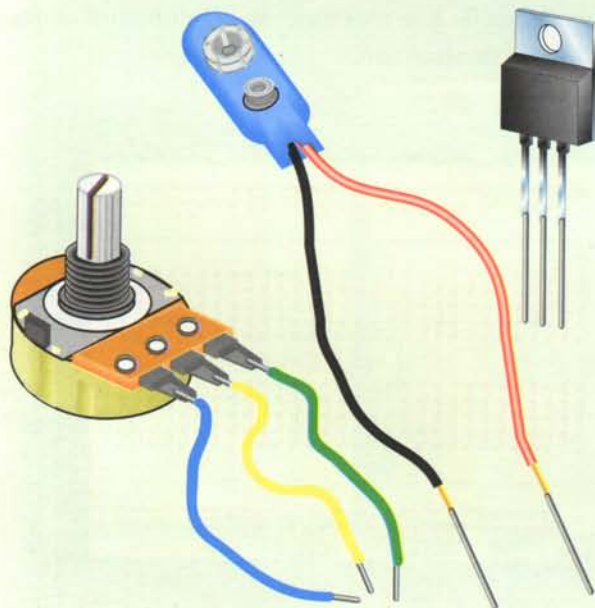


Figura 4.5. Extensión de los terminales de los componentes para no averiar los contactos

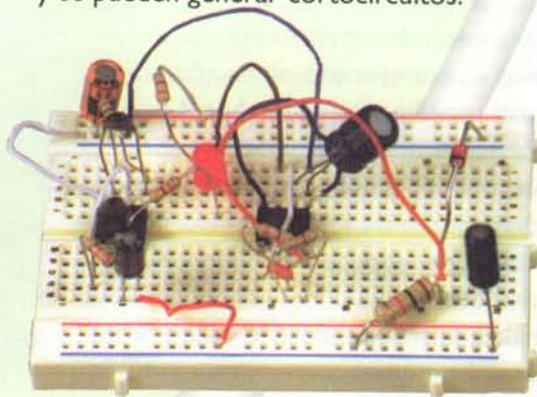


Figura 4.6. Montaje desordenado de un circuito; no recomendable en un protoboard

Ensamblaje de circuitos en un protoboard

Esta operación, además de fácil, es muy agradable; solamente debemos tener algunos cuidados básicos para que los circuitos trabajen correctamente. Primero debemos observar detenidamente el diagrama del circuito y visualizar cuales son las conexiones entre los componentes que lo conforman. Luego, debemos ir conectando sus terminales, uno por uno, utilizando los agujeros del *protoboard* como los puntos de unión entre ellos. Terminado el proceso, y antes de aplicar el voltaje de alimentación, debemos verificar con el diagrama cada una de las conexiones: on el fin de detectar errores en el armado.

Como puede verse, el ensamblaje de un circuito en un *protoboard* requiere tiempo, orden y paciencia, pero al hacerlo varias veces, se logra una buena habilidad, lo que garantiza la adquisición del conocimiento y la satisfacción de un circuito funcionando.

Inserte primero en forma ordenada y según el diagrama, los componentes principales como son los circuitos integrados y los transistores, alrededor de los cuales van conectadas las resistencias, los condensadores, los diodos, los diodos LED, los cables, etc. Esto nos permite establecer el área de trabajo y determinar si hay suficiente espacio para el circuito.

No construya un "nido de pájaro", **figura 4.6**, esto dificulta la revisión del circuito y aumenta la probabilidad de fallas. En muchas ocasiones perdemos más tiempo buscando un error que el que nos tomaría hacer un buen montaje desde el principio.

Para explicar mejor este procedimiento vamos a hacer el montaje de un circuito simple en un *protoboard*, siguiendo paso a paso la secuencia de ensamblaje. Las partes del circuito que se dibujan en color rojo corresponden a los elementos que ya se encuentran sobre el tablero. **Figuras 4.7a, 4.7b, 4.7c y 4.7d**

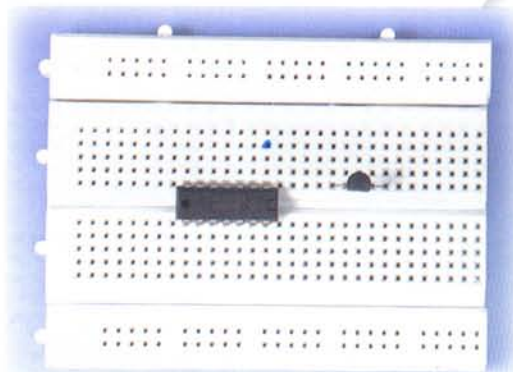


Figura 4.7a. Primero instalamos el circuito integrado 556 y el transistor 2N3904, de tal forma que nos faciliten las demás conexiones

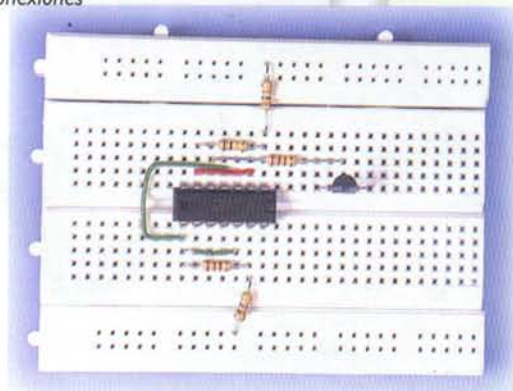
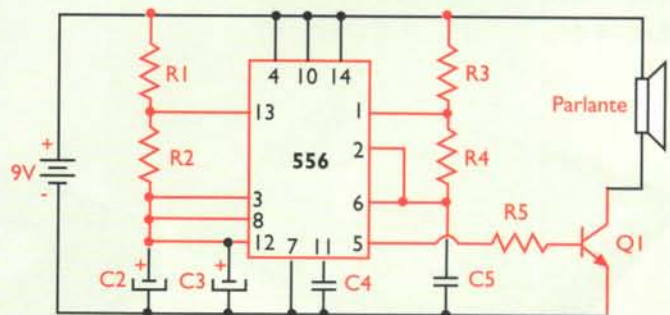
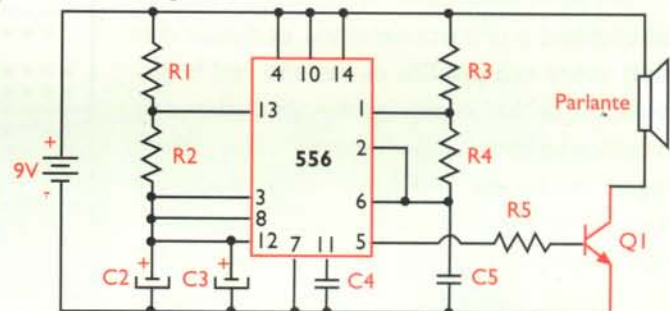


Figura 4.7b. Luego instalamos las resistencias R1, R2, R3, R4 y R5 y los puentes de alambre para unir los terminales 2 y 3, 3 y 8, y 8 y 12 del circuito integrado 556



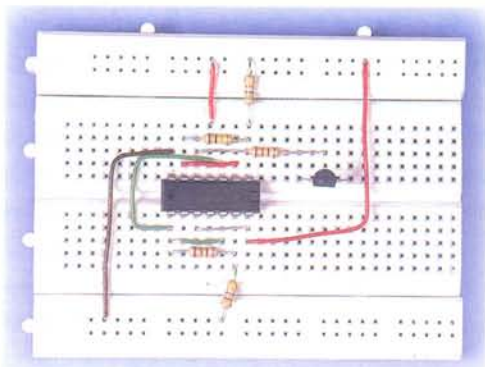


Figura 4.7c. Después instalamos los puentes de alambre para la alimentación positiva y negativa (buses) a los terminales 4, 10, 14 y 7 del circuito integrado 556

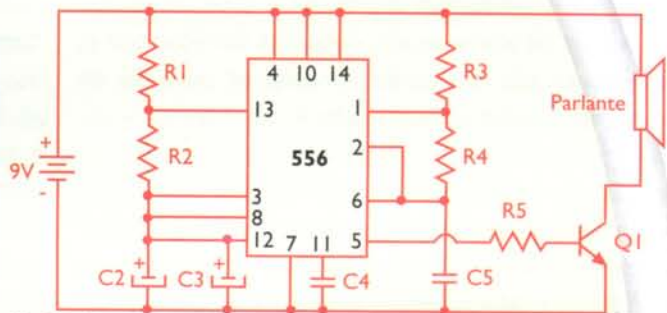
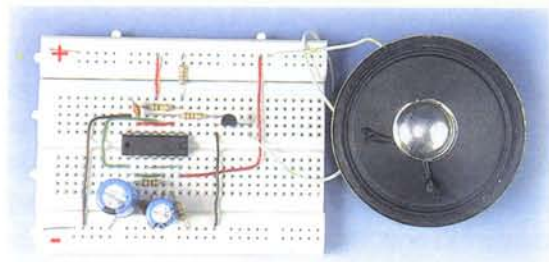
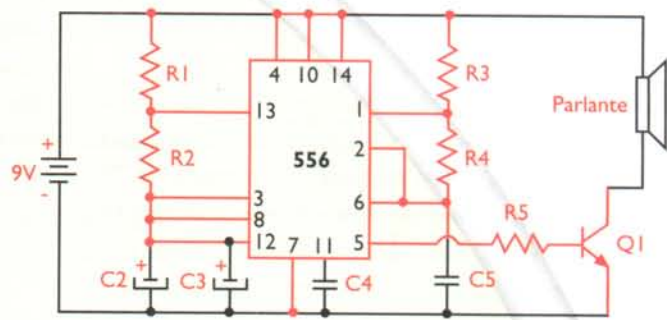


Figura 4.7d. Por último, instalamos todos los condensadores C2, C3, C4 y C5, el emisor del transistor Q1 a tierra, el parlante y los terminales para la fuente de alimentación

Un buen método de aprendizaje, mientras se adquiere la práctica necesaria, es dibujar con lápiz sobre una plantilla de tamaño real la disposición de los componentes, la cual puede modificarse borrando y volviendo a dibujar hasta lograr una buena distribución. Para ello incluimos un modelo de *protoboard* típico el cual pueden fotocopiar para este propósito. **Figura 4.8**

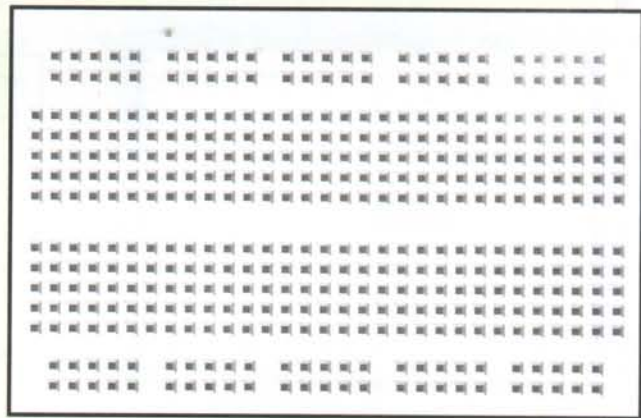


Figura 4.8. Plantilla para planear los montajes

Es muy útil tener los *protoboards* montados sobre una base, preferiblemente metálica con patas de caucho, con el fin de poder trabajar mejor en ellos. Algunos modelos incluyen una fuente de alimentación. **Figura 4.9**



Figura 4.9. Diferentes modelos de protoboards de CEKIT

Lección 5

Diseño y fabricación de circuitos impresos

De acuerdo a lo estudiado en la sección de componentes de este mismo curso, el circuito impreso es uno de los elementos principales de todo aparato o circuito electrónico. Una vez que lo tengamos disponible, el ensamblaje del proyecto se hace muy fácil. Por esto, dentro de las prácticas que todo estudiante debe hacer, está el diseño y la fabricación de circuitos impresos iniciando con algunos simples y luego avanzando hasta modelos más complejos, con el fin de adquirir la destreza necesaria en esta actividad. Éste es uno de los pasos más importantes en la fabricación de aparatos electrónicos, una actividad muy interesante y lucrativa que usted puede emprender con éxito.



Como vimos en la lección anterior, cuando estamos desarrollando un proyecto, la primera prueba de funcionamiento se debe hacer sobre el *protoboard* o tablero de conexiones sin soldadura. Después de esto, se debe construir el circuito impreso, el cual permitirá ubicar fácilmente todos los componentes en forma segura. En el desarrollo de esta lección veremos los aspectos más importantes relacionados con este tema.

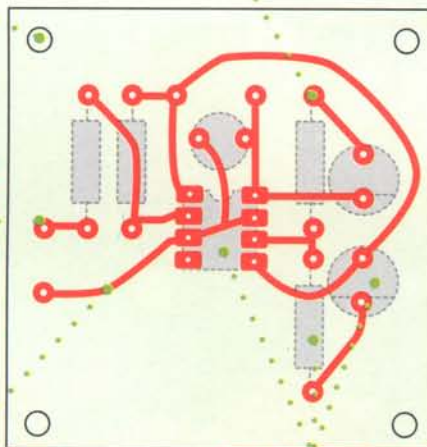
¿Qué es diseñar un circuito impreso?

Como podemos apreciar en la **figura 5.1** un circuito impreso tiene una serie de círculos o “donas” con una perforación en donde se insertan y sueldan los terminales de los componentes, y una serie de líneas o trazos de cobre los cuales forman las conexiones para completar el circuito. El diseño de un circuito impreso tiene dos aspectos principales. El primero es ubicar ordenadamente los diferentes componentes que lo conforman en una determinada área la cual debe tener un tamaño óptimo, es decir, ni muy grande, pues se desperdiciaría espacio, ni muy pequeña lo que ocasionaría que los componentes quedaran apretados entre ellos dando un mal aspecto y dificultando el ensamblaje del aparato. El segundo aspecto es conectar entre sí los diferentes terminales de los componentes de tal manera que queden impresas en el cobre todas las conexiones necesarias para que el circuito funcione correctamente.

Perforación para el montaje

Perforación para insertar los terminales de los componentes

Círculos o donas para las perforaciones y para soldar los terminales de los componentes



Trazos de cobre que forman el circuito

Espacio ocupado por los componentes

Figura 5.1. Trazos en un circuito impreso vistos por debajo

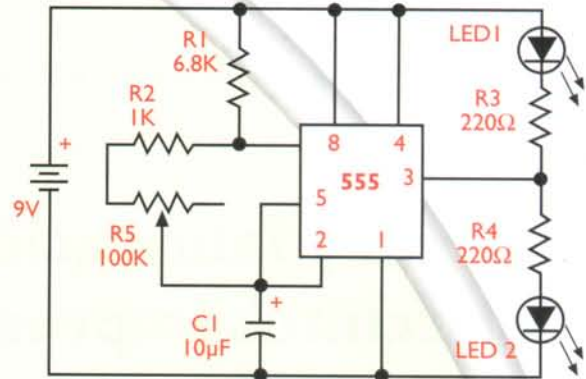


Figura 5.2. Diagrama esquemático a partir del cual se diseña el circuito impreso

Esta es una labor que requiere mucha paciencia y sobre todo mucho cuidado. Quien la ejecuta debe tener, además de los conocimientos sobre el tipo, tamaño y forma de los componentes, mucha creatividad e ingenio para lograr acomodar en forma ordenada y en el menor espacio posible, todos los componentes del circuito. El diseño debe terminar en un dibujo muy claro con el tamaño real para que éste pueda ser trasladado a la lámina de cobre, proceso que explicaremos más adelante.

Pasos para la elaboración de un circuito impreso

El diseño o dibujo de un circuito impreso parte del plano o diagrama esquemático del circuito, **figura 5.2**. Con esta información, debemos llegar a la elaboración de la plaqueta en donde se montan y sueldan los componentes, **figura 5.3**.

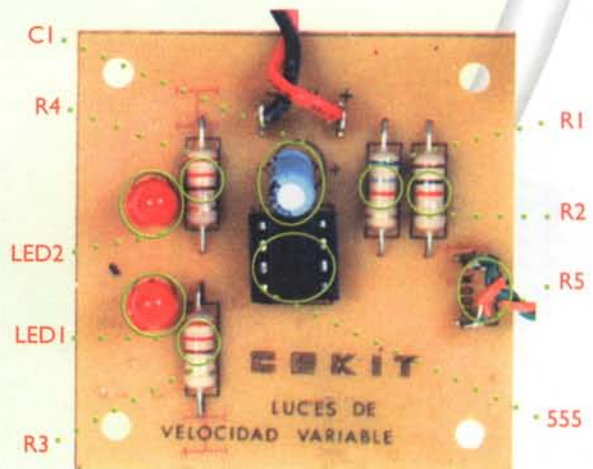


Figura 5.3. Circuito ya montado sobre la plaqueta

El diagrama debe ser lo más claro posible y contener el valor exacto de sus componentes, ya sea que estén escritos en forma directa, por ejemplo, $100\ \Omega$ a $1/4\ W$ para una resistencia, o indicados con las referencias R1, R2, C1, C2, etc., y que exista una lista completa de materiales con todos los datos necesarios. En esta información se basa totalmente el correcto diseño del circuito impreso pues la forma y tamaño de los diferentes componentes depende de su valor (unidades de medida y especificaciones). Lo más recomendable es tener todos los componentes a mano puesto que su forma y tamaño pueden variar, dependiendo del fabricante.

Generalmente, el primer circuito impreso de un aparato se fabrica en forma de prototipo experimental, y, al utilizarlo, ensamblando el circuito real, se puede mejorar o rediseñar hasta que cumpla con todos los requisitos técnicos y de estética que esperamos. Para la fabricación de un prototipo del circuito impreso de una sola cara, que es el tema que nos interesa por ahora, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Diseño de los trazos del circuito para que todos los componentes queden conectados como lo indica el diagrama esquemático. Puede ser en una hoja de papel o en la pantalla de una computadora.
2. Traslado o copia del diseño a la superficie de la lámina de cobre.
3. Eliminación o rebajado del cobre sobrante, para que permanezcan únicamente las líneas del circuito.
4. Perforación de los agujeros para los terminales de los componentes.

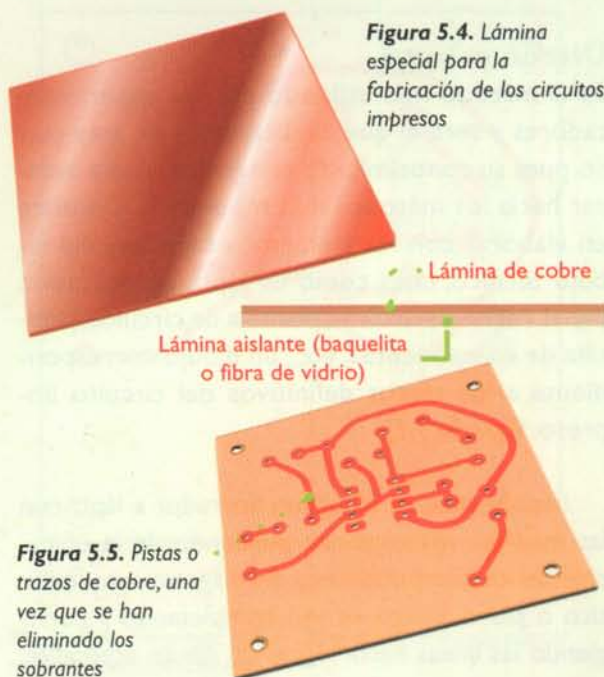
En la **figura 5.4** tenemos el aspecto y configuración de la lámina especial fabricada para este fin, antes del proceso de rebajado. Como ya lo mencionamos, está conformada por una lámina aislante, generalmente baquelita o fibra de vidrio, recu-

bierta totalmente por un lado con una lámina muy delgada de cobre. En la **figura 5.5** tenemos el circuito impreso terminado, después de eliminar el cobre sobrante.

La parte más crítica de este proceso es el diseño de los trazos o pistas del circuito impreso, es decir, la ubicación de los componentes y la unión de sus terminales hasta completar el diagrama esquemático. El traslado de este diseño a la lámina de cobre se puede hacer por diferentes métodos, tales como: utilizando un marcador o lapicero de tinta resistente al ácido, por screen, con el sistema fotográfico (*photoresist*) y con láminas de transferencia de toner para impresoras láser o fotocopiadoras. En este curso explicaremos en detalle el primer método, el cual es el más indicado para aquellas personas que se inician en este tema.

La eliminación del cobre sobrante se hace sumergiendo la lámina con el dibujo en un compuesto corrosivo como el percloruro férrico, el cual ataca este metal y lo disuelve; esto lo explicaremos más adelante.

Por último, las perforaciones para los terminales de los componentes en un circuito impreso,



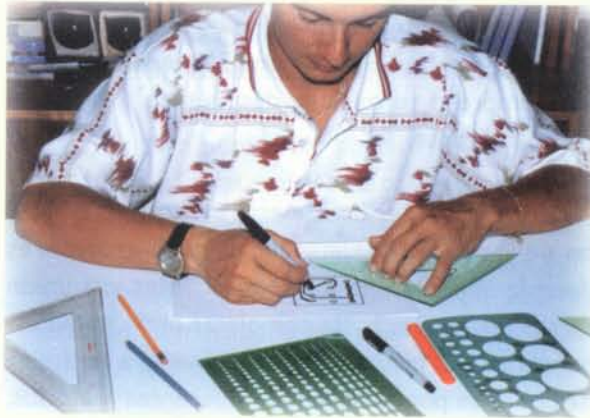


Figura 5.6. Dibujo en papel con los trazos del circuito impreso

permiten el montaje de los elementos que van sobre la superficie que no tiene cobre y cuyos terminales se sueldan en los conductores del lado opuesto. Todos estos procesos los iremos explicando detalladamente a medida que avancemos en esta práctica.

Técnicas para el diseño de circuitos impresos

Existen diferentes formas para diseñar los circuitos impresos. Según las herramientas y los conocimientos que tengamos, se pueden utilizar medios manuales o por computadora; a continuación haremos una breve descripción de ellos.

Diseño manual

Es el método más utilizado por los experimentadores y será el que explicaremos en este curso, pues su conocimiento es necesario para avanzar hacia los métodos más modernos. Consiste en elaborar con los elementos comunes del dibujo técnico, tales como un lápiz, un borrador, papel, reglas, escuadras, plantilla de círculos, plantilla de componentes, etc., un dibujo correspondiente a los trazos definitivos del circuito impreso, figura 5.6.

Inicialmente, se dibuja un borrador a lápiz con las medidas aproximadas, partiendo de la ubicación de los componentes y del diagrama esquemático o plano. Luego, se van completando y corrigiendo las líneas hasta lograr un dibujo aceptable.

Éste se debe pasar en limpio o sea finalizarlo con tinta negra, y una vez terminado, recibe el nombre de arte, con el cual se puede hacer un negativo o un positivo fotográfico para fabricar el circuito impreso en serie.

Diseño manual con dibujo por computadora

Este proceso es intermedio entre el diseño manual y el diseño asistido por computadora. En este caso, se reemplazan las herramientas manuales por las herramientas de un programa de dibujo como es el caso del FreeHand en las computadoras Macintosh, figura 5.7, y del CorelDraw, o el Paint-Brush en las computadoras tipo PC.

Aquí se parte del mismo proceso del diseño manual a lápiz descrito anteriormente, y luego, utilizando la computadora, dibujamos en la pantalla los diferentes elementos del circuito, como son los círculos para los terminales, las perforaciones y las líneas. Luego se elabora el arte final con una impresora de chorro de tinta (*inkjet*) o láser. De esto depende en gran parte la calidad del circuito impreso ya que éstos generalmente tienen líneas muy delgadas y círculos pequeños que son difíciles de dibujar a mano. Con este método se pueden borrar y repetir cuantas veces se quiera las líneas, variar la posición de los componentes y, en general, hacer modificaciones, algo muy común en este proceso.



Figura 5.7. Dibujo de los trazos en una computadora

Diseño por computadora o CAD

En los dos métodos anteriores, la ubicación de los componentes y el trazado de las líneas se hace manualmente, lo que toma la mayor parte del tiempo. El desarrollo de equipos más poderosos y de programas especializados para esta labor, ha sido un factor muy importante en el avance de la electrónica puesto que, en los circuitos complejos, con una gran cantidad de componentes, como es el caso de las tarjetas para computadora, se hace indispensable la utilización de circuitos impresos de varias capas los cuales son prácticamente imposibles de diseñar manualmente.

Para este proceso, hay en el mercado muchos programas que trabajan en forma similar, así: se captura o lleva a la pantalla de la computadora el diagrama esquemático del circuito. Luego, el programa genera la lista de materiales y una lista de conexiones llamada *netlist*. Con esta lista, se van ubicando uno por uno, en forma manual o semiautomática, los componentes en un área definida para el circuito. Después se le da la orden a la computadora para que haga los trazos, y, según el modelo, capacidad y velocidad de la máquina, ejecuta este proceso en forma automática, ahorrando mucho tiempo en el diseño.

Este es el proceso ideal y su única limitante es el costo, ya que el equipo necesario y los programas tienen un valor alto para la mayoría de los presupuestos. Para las universidades, laboratorios, centros de investigación e industrias, es el método que se debe emplear por su agilidad y velocidad en el diseño. En este curso solamente veremos el método de diseño manual, por su gran utilidad para aquellas personas que se inician en este tema.

Diseño manual de circuitos impresos

El diseño manual de los circuitos impresos es una combinación de técnica y arte que requiere ingenio y, más que todo, paciencia. Se trata de ubicar ordenadamente y con estética los componentes de un circuito en el menor espacio posible; luego, unir por medio de trazos o líneas que no se toquen entre sí, los diferentes puntos de conexión de ese circuito.

Cada circuito electrónico tiene un diseño de circuito impreso diferente y cada persona lo hace de distinta manera. Por lo tanto, la ubicación de los componentes y el trazado de las líneas, aunque deben obedecer a ciertas reglas, no tienen un procedimiento definido y dependen en gran parte de la habilidad personal de cada individuo para resolver el problema.

En la **figura 5.8** se pueden observar los principales elementos que se deben tener en cuenta para el diseño de cualquier circuito impreso así:

- En la gran mayoría de los casos, los circuitos impresos son rectangulares.
- Las medidas dependen de la cantidad de componentes del circuito y de la densidad que se pueda lograr (agrupación de los componentes).
- Todo circuito impreso debe llevar perforaciones para su fijación en el *chasis* a menos que se diseñe un tipo de montaje especial, por ejemplo, una tarjeta de computadora que se inserta en una ranura o *slot*.
- Para cada terminal de los componentes debe existir una perforación con el fin de insertarlos

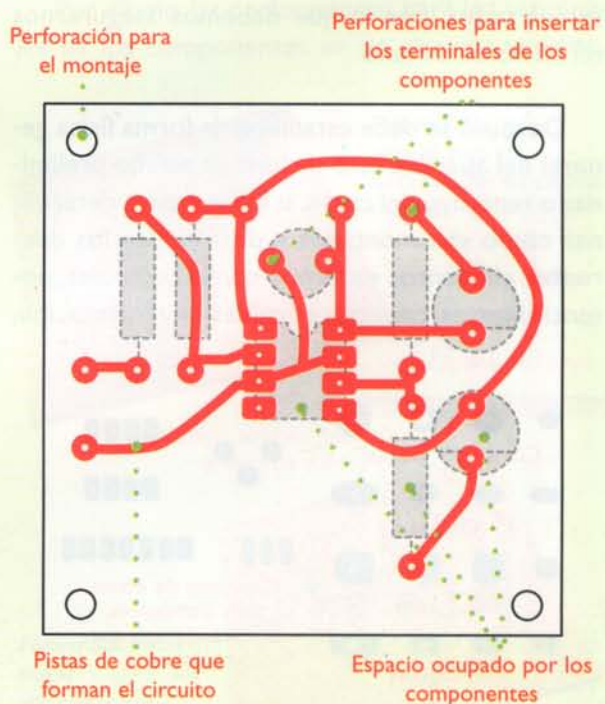


Figura 5.8. Elementos que se deben tener en cuenta para el diseño de circuitos impresos

y soldarlos. Alrededor de esa perforación se establecen los círculos o donas en donde se aplica la soldadura.

- Las donas o puntos de soldadura, van unidas por trazos, líneas o pistas de cobre para formar el circuito, según el diagrama.
- Los componentes deben tener espacio suficiente para que se puedan instalar sin tocarse con los demás, pero sin dejar muchos espacios vacíos.

Diseño del circuito impreso

Como ya vimos, el primer paso para el diseño, después de hacer las pruebas del circuito en un *protoboard*, es tener el diagrama definitivo con todos los valores de los componentes. Luego, debemos tener todos los componentes a mano ya que de su forma, medidas y configuración de los terminales depende en gran parte el diseño del circuito impreso. De los componentes más comunes, como las resistencias, algunos condensadores, transistores, diodos y circuitos integrados se conocen sus medidas por experiencia, pero otros cambian según la marca y, a veces, hay que reemplazarlos, por lo que debemos asegurarnos teniéndolos a mano.

Después se debe establecer la forma física general del aparato. Esto incluye un diseño preliminar o tentativo del *chasis*, si lo lleva, para determinar cómo van montados y distribuidos los diferentes elementos externos como controles, potenciómetros, conectores, cables de alimentación,

interruptores, parlantes, bornes, medidores, indicadores (LED, pilotos o *displays*), motores, sensores, etc. Esto determina los puntos de conexión de estos elementos con los componentes electrónicos del circuito. Cerca a estos puntos de conexión deben ir terminales o conectores para llevar alambres desde el circuito impreso a los elementos externos.

Hasta ahora hemos visto a grandes rasgos los pasos involucrados en el diseño manual de circuitos impresos. A partir de este punto los trataremos en forma detallada. Se debe recordar que estos pasos son fundamentales no sólo para el diseño manual, sino también para el diseño por computadora.

Los puntos de soldadura

Estos puntos, llamados popularmente "donuts" o donas, y que en inglés reciben el nombre de *pads*, son los que están dedicados a las perforaciones por donde se insertan los terminales de los componentes, para hacer su posterior soldadura en los circuitos impresos.

En la **figura 5.9** se muestran las formas más utilizadas para ellos: círculos, cuadrados, óvalos, y otras formas compuestas. El tamaño de estos puntos depende del tipo de terminal que se va a insertar y soldar en él. Un diámetro muy pequeño del punto puede resultar en su desaparición cuando se haga la perforación, o un punto muy grande, desperdicia el espacio en la plaqueta, **figura 5.10**



Figura 5.9. Formas más utilizadas para las donas o puntos de conexión



Figura 5.10. Diámetro externo de los puntos de conexión

Conocimiento de los componentes electrónicos

Este conocimiento comprende su forma, tamaño o medidas, tipo de terminales o cables de conexión, polaridades, posibles reemplazos, etc. De estos factores depende en gran parte el diseño del circuito impreso. Debemos conocer también los voltajes y corrientes que circulan por las diferentes líneas de un circuito; esto determina su separación y espesor; ya que no es lo mismo un circuito de baja potencia que funciona con 6V de CC y unos pocos mA, que un circuito que trabaja con 110V de CA con varios amperios.

Medidas de los componentes

El tamaño de los circuitos impresos depende de las medidas de sus componentes. Por eso se deben conocer su forma y tamaño, y en cuanto a sus terminales, la cantidad, disposición y separación. En la **figura 5.11**, mirando por debajo del circuito impreso, tenemos varios tipos de componentes, la línea punteada indica su forma y tamaño, y como se puede ver, en cada terminal debe ir un punto de conexión. En algunos componentes debe existir una separación entre su cuerpo y los puntos de conexión. En las resistencias, diodos y condensadores de tipo axial, por ejemplo, se debe dejar más o menos un milímetro entre su cuerpo y el punto en

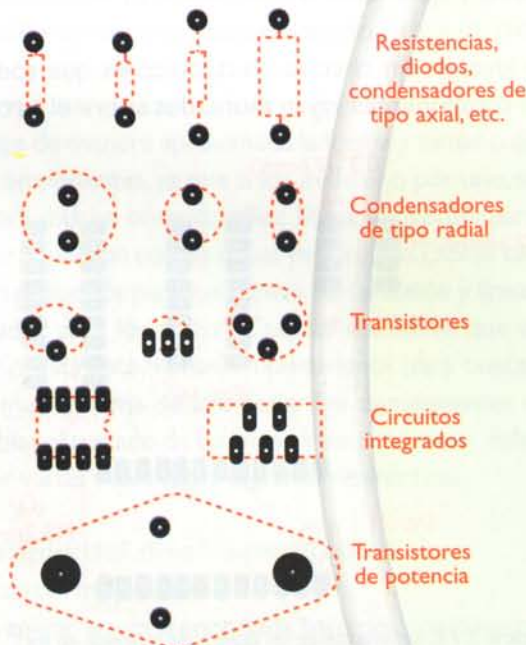


Figura 5.11. Tamaño real de algunos componentes electrónicos

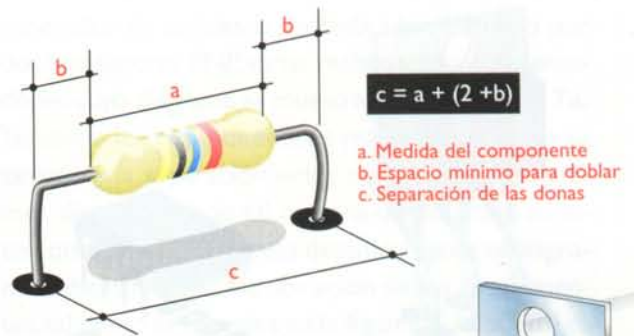


Figura 5.12. Medidas para el espacio ocupado por una resistencia

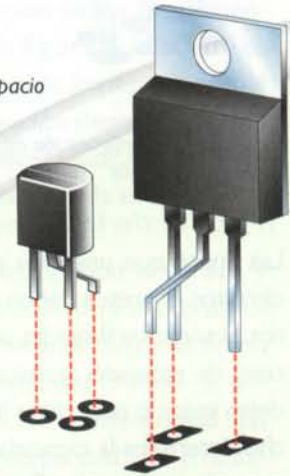


Figura 5.13. Configuración de los puntos de conexión para los transistores

donde se dobla el terminal, **figura 5.12**. En los transistores, cuyo cuerpo y separación entre terminales es muy pequeño, los puntos de conexión se pueden separar hasta permitir que éstos tengan el tamaño adecuado para admitir la perforación, **figura 5.13**. En los circuitos integrados las medidas de los puntos de conexión son fijas, ya que los terminales son muy rígidos y cortos y no se pueden desplazar de su medida original, **figura 5.14**. Recordemos que el diseño se debe hacer siempre pensando en el proceso de ensamblaje.

Las medidas de los componentes electrónicos se expresan generalmente en décimas de pulgada, de acuerdo a los estándares establecidos desde hace mucho tiempo por el sistema americano. En nuestro caso, como trabajamos con el sistema decimal, se convierten estas medidas a milímetros y centímetros. Sin embargo, para los circuitos integrados es necesario conservar las medidas en décimas de pulgada, pues es muy difícil dibujar los puntos con separaciones de 2,54 mm entre ellos, **figura 5.15**. Si usted trabaja o piensa trabajar con frecuencia en el diseño de circuitos impresos, le recomendamos que tenga una regla con divisiones marcadas en décimas de pulgada (0,1").

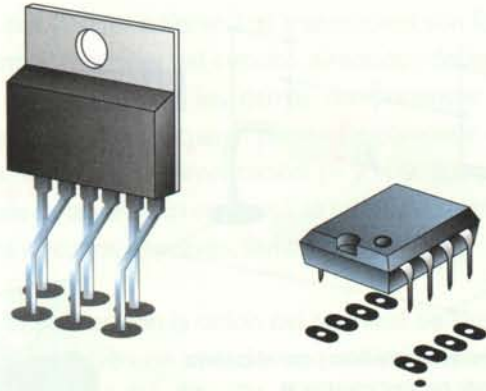


Figura 5.14. Configuración de los puntos de conexión para los circuitos integrados

Trazado de las líneas

Las líneas que unen los puntos de conexión en los circuitos impresos deben cumplir con ciertos requisitos. Si son muy delgadas, se pueden romper en el proceso de rebajado químico, y si son muy gruesas, no dejan espacio para otras líneas. Eléctricamente su ancho determina la capacidad de corriente en amperios que pueden manejar. Para circuitos de baja potencia, una línea de 0,5 mm es suficiente. Si hay espacio disponible se puede utilizar 1 mm como anchura para todas las líneas. Si hay partes del circuito que manejan corrientes altas, se deben utilizar líneas más gruesas.

Primeros pasos para el diseño

Aunque no existen reglas exactas para este procedimiento, vamos a dar algunas sugerencias que lo facilitan.

- Trabaje siempre con lápiz, ya que lo más seguro es que un diseño se deba corregir muchas veces antes de quedar terminado.
- Tómese un buen rato para analizar detenidamente el diagrama esquemático; seguramente le surgirán varias ideas sobre la manera óptima de distribuir los componentes.
- Un circuito impreso debe tener el menor tamaño posible, sin que ésto dificulte su ensamblaje y conexión a los otros elementos del aparato.
- Los componentes se deben colocar en forma paralela o perpendicular a los bordes de la placa, en ningún caso transversales, reservando un área para su cuerpo y marcando los puntos para los terminales.

- Procure, en lo posible, distribuir los componentes en toda la superficie dejando uno o dos milímetros de separación entre ellos, para que éstos se puedan montar fácilmente. Si no se deja este espacio, puede quedar uno montado sobre el otro.
- Los elementos que producen calor, como transformadores, resistencias, diodos, transistores y circuitos integrados de potencia, con sus disipadores, deben tener un área libre para que no afecten el funcionamiento de los otros componentes.
- Tenga en cuenta la orientación de los pines o terminales en los componentes que van polarizados (diodos y condensadores electrolíticos), o que tienen una distribución única de ellos (transistores y circuitos integrados) para que en el diseño no queden cambiados.
- Si hay algún componente que necesite un ajuste mecánico, como potenciómetros del tipo *trimmer*, bobinas y condensadores variables, se debe dejar el espacio y la forma adecuada para hacerlo sin dificultad. En la mayoría de los casos éstos se dejan cerca a un borde del circuito impreso, figura 5.16.
- Si hay componentes que tienen un peso mayor de lo normal, deben tener algún soporte mecánico para asegurarlos al circuito impreso, o montarlos por fuera de éste.

Componentes externos

Lo ideal en un circuito electrónico es que todos sus componentes vayan montados sobre el circui-

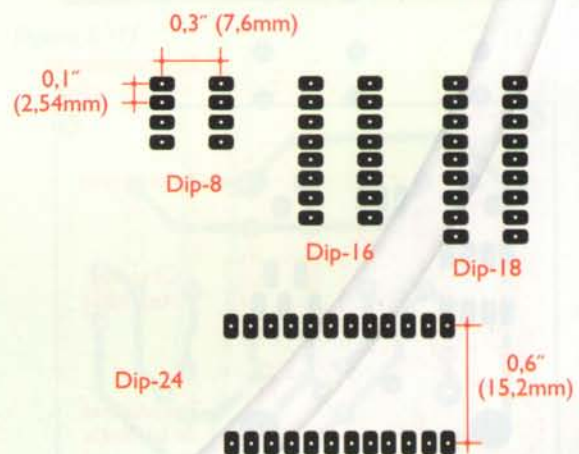


Figura 5.15. Separación de los puntos de conexión en los circuitos integrados

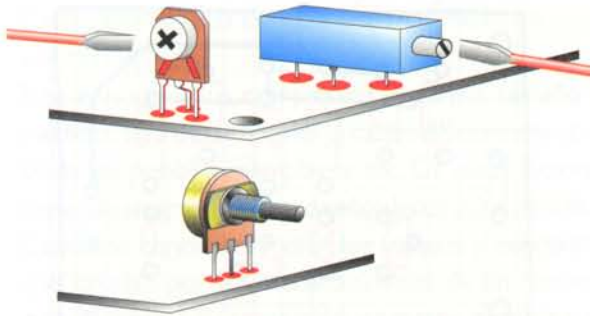


Figura 5.16. Los componentes ajustables deben quedar cerca a los bordes del circuito impreso, para poder manipularlos

to impreso. Esto facilita su ensamblaje y garantiza un mejor funcionamiento. Sin embargo, en la mayoría de los casos esto no es posible, ya que hay algunos componentes que por su forma y tamaño deben ir montados sobre los paneles (frontal y trasero) o en el *chasis* de los aparatos. Tal es el caso de los transformadores, interruptores, potenciómetros, indicadores (LED, voltímetros, etc.), conectores, portafusibles y cables de alimentación, entre otros. Para conectar los elementos externos con los otros componentes que están montados sobre el circuito impreso, se debe dejar una *dona* o *pad* para allí colocar un terminal o para insertar el cable que va hacia dicho elemento. Muchas veces se agrupan varios puntos de conexión externos por medio de conectores. La utilización de estos elementos es muy recomendable ya que facilitan el ensamblaje y la reparación de los circuitos y aparatos.

Cómo empezar

Dibuje de manera aproximada la forma y tamaño de los componentes, ya que si los mide uno por uno, se tomará mucho tiempo; utilice líneas punteadas para evitar confusión con las líneas del circuito. Dibuje círculos pequeños para los puntos de conexión y líneas delgadas para los trazos. Cuando considere que el diseño está listo, revíselo nuevamente para buscar una mejor forma de acomodar los componentes o cambiar el trazado de las líneas. Este proceso se debe hacer varias veces hasta lograr el diseño final.

Ejemplo del diseño manual de un circuito impreso

Para aplicar la teoría enunciada, haremos como ejemplo el diseño del circuito impreso para un circuito

generador de señales o multivibrador, formado por dos transistores PNP, varias resistencias y condensadores, cuyo diagrama se muestra en la **figura 5.17a**. Teniendo los componentes a mano, conociendo su tamaño y la separación entre sus terminales, debemos distribuirlos de tal manera que sea fácil su interconexión. Observando detenidamente el diagrama debemos llegar a la ubicación de los componentes, tal como se muestra en la **figura 5.17b**. Éste es quizás el paso y el momento más importante en el diseño, ya que de esta distribución depende en gran parte que el trazado se haga fácilmente. Aquí es donde entran en juego la imaginación y la estética.

Se debe establecer una agrupación ordenada y lógica de los componentes, de acuerdo a sus conexiones entre sí, o a puntos comunes en el diagrama, como la alimentación positiva y la negativa o áreas de entrada y de salida. Esta distribución no tiene reglas fijas y cada persona la hará diferente, pero, al final el resultado debe ser el mismo. El tamaño de los componentes se dibuja en forma aproximada y en el diseño final se ajusta a la medida real. En este caso podemos ver, por ejemplo, que se han alineado todas las resistencias en un solo lado, y al otro, los dos transistores y

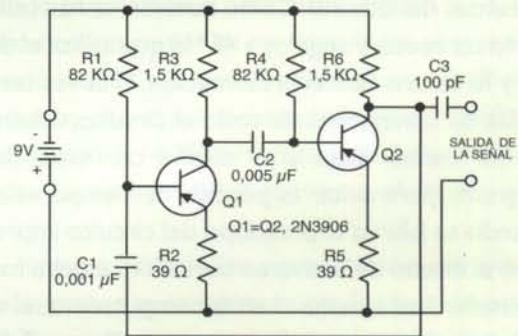


Figura 5.17a. Diagrama esquemático del ejemplo

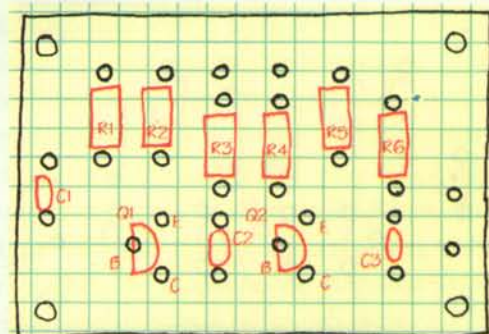


Figura 5.17b. Pasos para el diseño de un circuito impreso

los dos condensadores. Los transistores son los elementos centrales del circuito, alrededor de los cuales van conectados los demás componentes. Note que se han dejado cuatro puntos de conexión externos: dos para la alimentación (+ y -) y dos para la salida de la señal. En este caso se utilizarán terminales para circuitos impresos, llamados *espaldines*.

Iniciamos con la unión del terminal de alimentación negativo con uno de los terminales de las resistencias R1, R3, R4 y R6, **figura 5.17c**. Como se ve, las líneas unen los círculos y pasan por debajo de los componentes; recuerde que lo que se está dibujando son líneas de cobre que están por debajo de la baquelita o lámina del circuito impreso. En la práctica, para facilitar el diseño, se pueden resaltar con un marcador rojo, en una copia del diagrama, las líneas conectadas. Continuando con el diseño, se conectan el terminal positivo, una de las salidas de señal, y las resistencias R2 y R5, **figura 5.17d**.

En la **figura 5.17e** se muestra la conexión entre C1, el colector de Q2, un terminal de R6, y uno de C3. Finalmente, en la **figura 5.17f** tenemos la conexión de los terminales restantes de los componentes del circuito. Como notarán, se han utilizado líneas rectas y ángulos a 45° lo que agiliza el diseño y le da una buena presentación. Una vez terminadas las conexiones de todo el circuito, debemos revisar varias veces si el diseño corresponde al diagrama para evitar la pérdida de tiempo valioso cuando se fabrica el prototipo del circuito impreso. Con el diseño definitivo en borrador, se debe hacer el diseño final a mano o en la computadora, el cual debe quedar como se muestra en la **figura 5.18**.

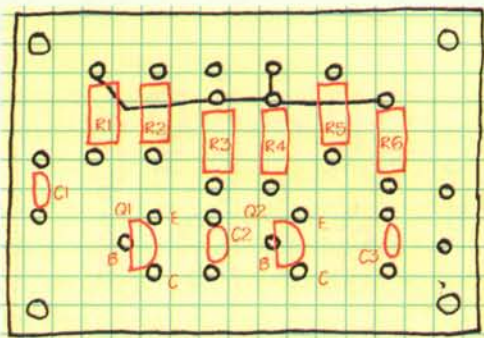


Figura 5.17c

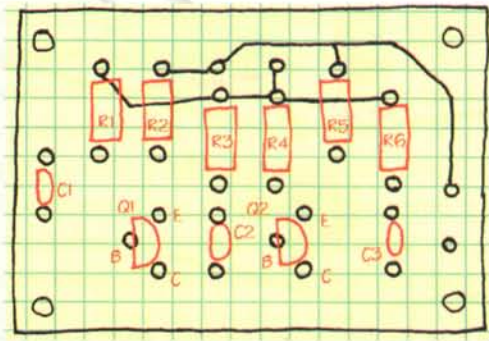


Figura 5.17d

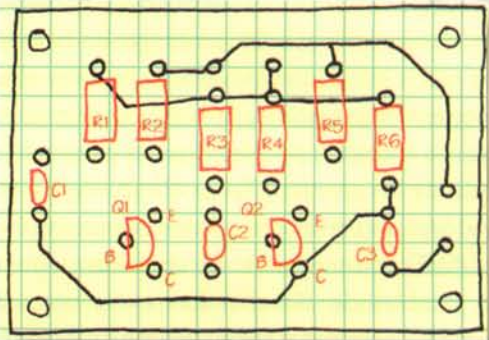


Figura 5.17e

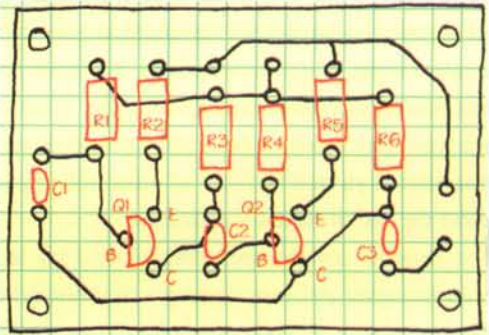


Figura 5.17f

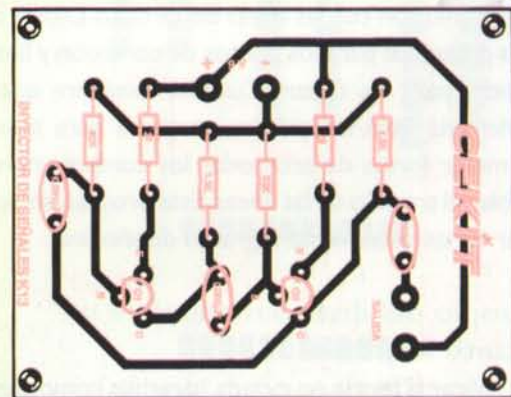


Figura 5.18. Diseño final del ejemplo

Fabricación de circuitos impresos

A partir del diseño, mostrado en la figura 5.18, se debe obtener un arte final con las medidas reales para que, a partir de éste, se fabrique el prototipo del circuito impreso. Este diseño final puede hacerse con el método tradicional de dibujo manual con plantillas de círculos, reglas, tinta china, etc., o utilizando plantillas especiales diseñadas para tal fin. Cuando se diseñan circuitos impresos a nivel profesional o industrial, se recomienda hacerlos en escala de 2 a 1 (2:1) con el fin de facilitar el trabajo y lograr una mejor calidad. Esto quiere decir que todas las medidas de los componentes se dibujan al doble de su tamaño real y luego, por métodos de *fotomecánica*, se reduce el diseño a su tamaño normal.

Método con un marcador de tinta especial

A continuación, explicaremos paso a paso este método, que por su sencillez y efectividad, es el más recomendado para los que se inician en la electrónica práctica. Con unos pocos materiales de bajo costo, y siguiendo con cuidado las instrucciones, se puede lograr un prototipo de un circuito impreso, a partir de un diseño, en menos de 30 minutos.

El método consiste en dibujar sobre el lado del cobre el diseño del circuito impreso utilizando un marcador de tinta que no se borra con los líquidos, luego, éste se sumerge en una solución corrosiva que elimina el cobre que no está dibujado. Los elementos básicos que se utilizan para este procedimiento son: un lapicero o marcador de tinta especial, una esponjilla o tela abrasiva limpiadora, la placa de baquelita y cobre, y el compuesto corrosivo, **figura 5.19**.



Figura 5.19. Materiales para fabricar el prototipo del circuito impreso

Paso 1. Corte de la lámina para el circuito

De acuerdo al diseño definitivo, marque con un lápiz el tamaño del circuito impreso sobre la baquelita y con una sierra de mano de dientes suaves, haga el corte con cuidado para no dañar la placa ya que este material es muy frágil, **figura 5.20**. También se puede cortar la lámina haciendo varias pasadas (unas cinco veces) por ambos lados con el lado opuesto al filo de una cuchilla o bisturí, hasta que se pueda quebrar sin problema, **figura 5.21**. Con el último método, el corte queda más recto. Luego, con una lima plana, elimine las asperezas que pudieran quedar en los bordes de la placa después del corte.



Figuras 5.20 y 5.21. Cortando la lámina sin procesar

Paso 2. Traslado del diseño del circuito a la lámina de cobre

- a) Obtenga una copia del diseño original (vista por debajo) y corte el papel dejando unos dos centímetros por fuera de cada borde del diseño.



Coloque este papel sobre la placa por el lado del cobre y doble los bordes hacia adentro para que el dibujo no se mueva; si es necesario, fije la hoja a la placa con cinta adhesiva por el lado de la baquelita, tal como se indica en las **figuras 5.22a y 5.22b**.

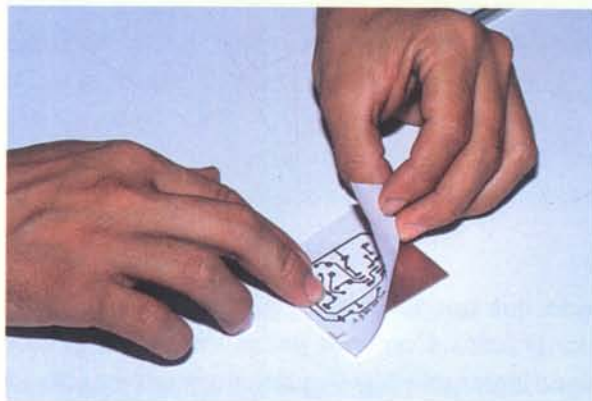


Figura 5.22a. Se debe colocar el dibujo sobre la plaqueta

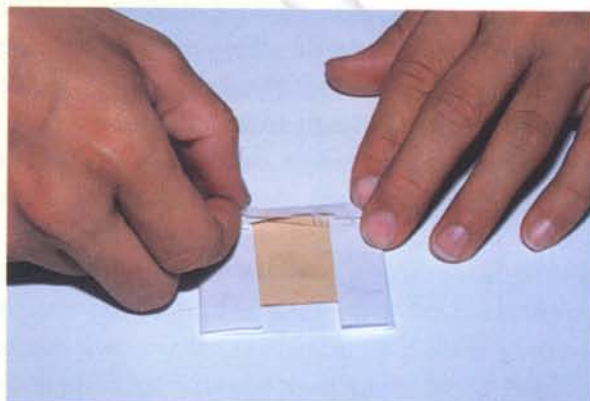


Figura 5.22b. El papel se debe asegurar por detrás

Con un punzón, o una aguja gruesa, marque los puntos que corresponden a cada círculo del circuito impreso, **figura 5.23**. Estos círculos sirven como guías para las perforaciones. Cuando esté seguro de que todos los puntos quedaron marcados, retire la hoja con el dibujo que sirvió como patrón.



Figura 5.23. Marcando los puntos sobre la plaqueta

b) Tome la lámina para el circuito impreso y límpiela bien con una esponja de alambre fino, de las que se utilizan para limpiar los utensilios de cocina, hasta que el cobre quede brillante, **figura 5.24**. Tenga cuidado de no engrasar la superficie con los dedos después de limpiarla. Es obligatorio hacer esta limpieza debido a que el cobre se oxida fácilmente al entrar en contacto con el oxígeno del aire y no permite actuar al líquido corrosivo, dañando el proceso de fabricación del circuito impreso.



Figura 5.24. Limpieza de la plaqueta

c) Con un lapicero especial de tinta antiácido, dibuje círculos pequeños de 3 mm aproximadamente alrededor de cada punto que haya dejado el punzón, **figura 5.25**. Deje secar por un momento la tinta y repinte varias veces los círculos; tenga cuidado de no apoyar la mano sobre el cobre para no engrasarlo. Para este procedimiento puede utilizar una plantilla de círculos; así las *donas* quedarán bien redondas. **La tinta de este lapicero es muy volátil y se seca rápidamente, por lo tanto no lo deje destapado mucho tiempo ya que su punta se seca y le impide el paso a la tinta.**



Figura 5.25. Haciendo los círculos sobre los puntos marcados

d) Después de completar los círculos, y pasando suavemente el marcador, dibuje las líneas o *pistas* del circuito impreso, tomando el diseño original como muestra la **figura 5.26**. Estas líneas se pueden hacer a mano alzada o utilizando una regla para que ellas queden bien rectas.

Cuando finalice este paso, repinte las pistas nuevamente, **figura 5.27**, para que las líneas queden bien marcadas, ya que de esto depende en gran parte el buen resultado de este método. Revise varias veces el diseño para no cometer errores o dejar líneas sin marcar. Si encuentra un error, puede borrar raspando la línea con una cuchilla y volver a dibujar la línea correcta.

Paso 3. Eliminación del cobre excedente

Para que los trazos o pistas del circuito impreso queden establecidos en forma definitiva, se debe remover de la lámina el cobre sobrante, o sea aquel que no está cubierto por la tinta especial. Este procedimiento recibe el nombre de rebajado o *etching* y se puede efectuar en una cubeta de plástico con el tamaño adecuado, según el circuito impreso.

Para remover el cobre se utiliza un producto líquido corrosivo de fácil preparación. Sus componentes son: agua y **percloruro férrico**, el cual se consigue en forma de polvo en los almacenes de suministro de productos químicos. La proporción del percloruro debe ser del 50% con respecto a la cantidad de agua.

Dependiendo de su tamaño, vierta en la cubeta 250 a 500 c.c. (1/4 a 1/2 litro) de agua preferiblemente pura (de lluvia) o destilada; el agua del suministro público contiene cloro y otros elementos que neutralizan el percloruro férrico. Utilizando siempre guantes de caucho o de plástico, agregue lentamente unos 150 gramos de percloruro de hierro en polvo hasta disolverlo completamente en el agua, **figura 5.28**.

Mientras hace esto, notará que la temperatura de la solución aumenta, expidiendo gases tóxicos que no deben ser respirados; por lo tanto, esta mezcla debe ser hecha en un lugar suficientemente ventilado.



Figura 5.26. Haciendo las líneas para unir los puntos

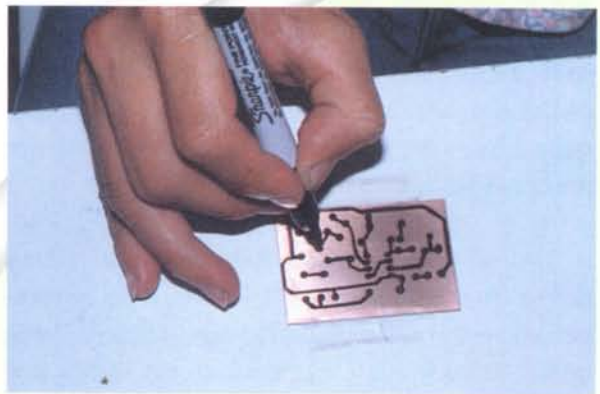


Figura 5.27. Repintando las líneas para que queden bien marcadas

Precaución: El percloruro férrico es un ácido muy corrosivo, que no sólo ataca los metales sino también la ropa y la piel. Evite el contacto directo tomando todas las precauciones necesarias y utilice guantes de caucho durante todo el proceso. Si en algún momento el ácido entra en contacto con alguna parte de su cuerpo, lávese con agua abundante, y si hay quemadura o molestia, acuda a un centro de salud.

Lista la solución, y, después de revolverla suavemente, se coloca la lámina del circuito impreso en la cubeta con el lado del cobre hacia arriba y se agita periódicamente en forma suave y en un sólo sentido para evitar el derramamiento del ácido, **figura 5.29**. En unos 10 ó 12 minutos, el cobre sobrante será removido. Es conveniente sacar con una pinza plástica la plaqueta para inspeccionarla cada 3 ó 5 minutos. Mientras la revisa, se dará cuenta que el cobre se va eliminando hasta quedar solo el trazado



Figura 5.28. Preparación del percloruro férrico

del circuito impreso. Si dejamos mucho tiempo la lámina en el ácido, el cobre empezará a deteriorarse y se puede perder el trabajo. Esta es una de las fallas más comunes que se presentan con este método y por lo tanto hay que poner mucho cuidado para que no ocurra.

Una vez que esté listo el circuito, retire la lámina y enjuáguela muy bien con agua. Guarde el líquido preparado en un recipiente de plástico ya que se puede utilizar varias veces. Lave muy bien sus manos y el recipiente, cuando termine este proceso, y deje secar la plaqueta por evaporación colocándola en forma vertical. La tinta especial no debe eliminarse, ya que protege el circuito contra la oxidación y sobre ella se pueden hacer las soldaduras sin ningún problema.

Nota: el dibujo y el rebajado del cobre se deben hacer el mismo día, porque una vez que se ha pulido el cobre, su oxidación ocurre en corto tiempo.

Paso 4. Perforación de los agujeros para los terminales

Proceda a hacer las perforaciones en todos los círculos o donas utilizando un taladro pequeño o *Moto-Tool*, figura 5.30, que es una herramienta muy apropiada para este fin. Utilice una broca de 1/32" (0,8 mm) para todos los agujeros de los componentes y, si es necesario, amplíe con una broca de 3/64" (1,2 mm) las perforaciones donde se van a soldar componentes con terminales más gruesos o conectores.

También se deben perforar los agujeros por donde pasan los tornillos de sujeción de los circuitos

tos en el *chasis* con una broca de 9/64" (3,5 mm). Con estas perforaciones, queda listo el circuito impreso para el paso siguiente en la elaboración del proyecto: insertar y soldar los componentes.

Los materiales para la elaboración fácil y rápida de protoipos de circuitos impresos se pueden conseguir en CEKIT y sus distribuidores, bajo la referencia **K-550, "Kit para fabricar Circuitos Impresos"**



Figura 5.29. La plaqueta se debe sumergir en el percloruro férrico

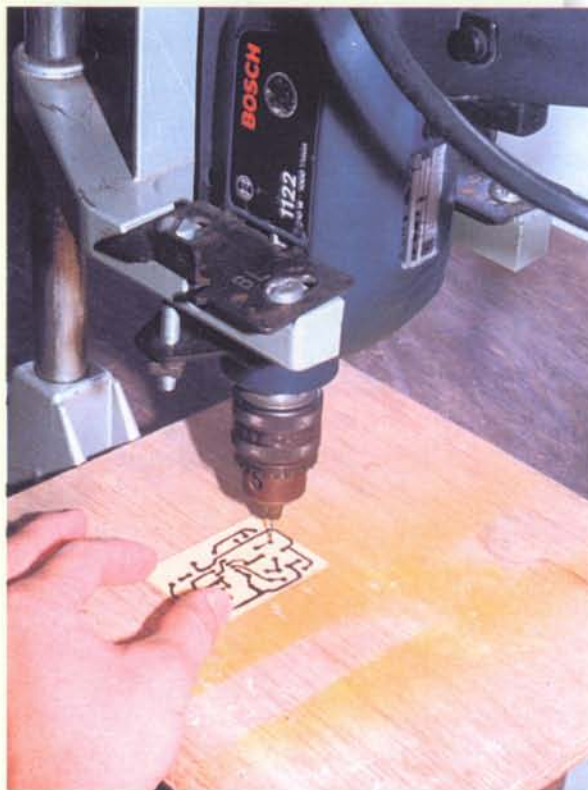


Figura 5.30. Perforación de los agujeros para los terminales de los componentes



Lección 6

Montaje y soldadura de los componentes electrónicos

La correcta instalación y soldadura de un componente electrónico en el circuito impreso es un factor determinante, tanto para el buen funcionamiento del proyecto, como para la calidad y buena presentación del mismo.



Para el ensamblaje de un circuito impreso se requieren básicamente tres herramientas muy simples y fáciles de conseguir, que son: un cautín para soldar, una pinza de punta pequeña y un cortafrío, **figura 6.1**. Lo más aconsejable es que el estudiante o experimentador electrónico adquiera unas herramientas de buena calidad desde el principio, así ello significa que una inversión costosa en ese momento. Esto asegura que, con un buen manejo, puedan durar muchos años, ya que una herramienta ordinaria tendría que remplazarse varias veces generando nuevos costos.

La soldadura para componentes electrónicos

En electrónica, el proceso de la soldadura es muy importante y tiene dos objetivos: unir mecánicamente las piezas o componentes y hacer una buena conexión eléctrica entre ellos. Si una o varias soldaduras quedan defectuosas, seguramente el circuito o aparato fallará; este tipo de soldaduras se llaman "soldaduras frías" y se reconocen por ser opacas o poco brillantes, y con una superficie no uniforme.

La soldadura que se utiliza en electrónica viene en forma de alambre y es una aleación o combinación de dos metales, estaño y plomo. Existen diferentes tipos de aleaciones pero la



Figura 6.1. Herramientas básicas para el ensamblaje de proyectos electrónicos



Figura 6.2. Soldadura para electrónica

más utilizada es la que contiene un 60% de estaño y un 40% de plomo, llamada comúnmente 60/40 lo que permite que el punto de fusión, o sea aquel en donde se funde, se logra a 370° F lo cual se obtiene fácilmente con los cautines fabricados para este propósito. La soldadura trae en su interior un compuesto químico fundente o **resina**, que sirve para acelerar la fusión, limpiar los contactos y para que el punto de unión quede con aspecto brillante. El diámetro de la soldadura debe ser pequeño, del orden de 1 mm, para que su fusión sea rápida. Ésta viene generalmente en carretes de 1/4, 1/2 y 1 libra. **Figura 6.2**

En la soldadura de los componentes de los circuitos impresos no se debe utilizar un compuesto conocido como "pomada para soldar", ya que ésta produce caminos conductores entre los trazos del circuito ocasionando un mal funcionamiento del mismo. Esta pomada puede utilizarse en algunos casos, para facilitar la soldadura de cables gruesos, en conectores o interruptores, por ejemplo.

El cautín para soldar

Todo estudiante o aficionado a la electrónica debe tener un cautín de punta fina, la cual debe ser fácil-

Figura 6.3. Cautines de mayor potencia para soldar alambres gruesos y piezas de metal



mente intercambiable y de fácil consecución en el mercado. Uno de buena calidad y muy económico es el cautín Weller de 25 Vatios. Sin embargo, se puede adquirir uno de otra marca, previo análisis de su construcción y calidad.

En ciertas ocasiones, para la soldadura de cables o alambres gruesos, o para la unión de dos piezas metálicas, caso que se puede presentar en algunos proyectos, es necesario tener un cautín de mayor potencia, entre 45 y 60 W, **figura 6.3**. Nunca se deben utilizar en electrónica las pistolas para soldar que se empleaban anteriormente ya que éstas producen demasiado calor y dañan fácilmente los semiconductores (diodos, transistores y circuitos integrados) y los otros elementos tales como resistencias y condensadores.

Estañado del cautín

Cuando se adquiere un cautín lo primero que se debe hacer es estañar su punta; esto también debe hacerse periódicamente cuando ésta se vaya gastando. Esta operación es muy importante, ya que facilita la fundición rápida de la soldadura, asegurando una buena calidad. Cuando se detecta que el cautín ya no funde la soldadura o lo hace muy mal, debe ser estañado nuevamente. Para hacerlo, debemos limpiar muy bien la punta con una cuchilla, una lima fina o papel de lija, después aplicamos soldadura en buena cantidad sobre la punta y, finalmente, limpiamos muy bien con un pedazo de tela, teniendo cuidado de no quemarnos. **Figura 6.4**

Montaje de los componentes

Antes de conocer cómo hacer las soldaduras, veamos algunos aspectos preliminares sobre el montaje de los componentes en el circuito impreso, lo cual es fácil y sencillo. Para hacerlo en forma correcta se deben tener en cuenta algunas consideraciones, las cuales, si son aplicadas con frecuencia, permiten una mayor posibilidad de que los aparatos que armemos funcionen bien y obtengan una óptima presentación. En la práctica, se encuentra que el 80% de las causas que hacen que un proyecto falle corresponde a errores de ensamblaje y malas soldaduras.

Antes de iniciar el montaje debemos asegurarnos de que tenemos disponibles todos los componentes del circuito. Esto es necesario para no suspender el ensamblaje por la falta de alguno de ellos. Además, si por alguna razón no se pueden obtener definitivamente, se perdería todo el trabajo realizado con los demás elementos desperdiciando tiempo y dinero.

En la selección de los componentes debemos utilizar los mismos para los cuales fué diseñado el

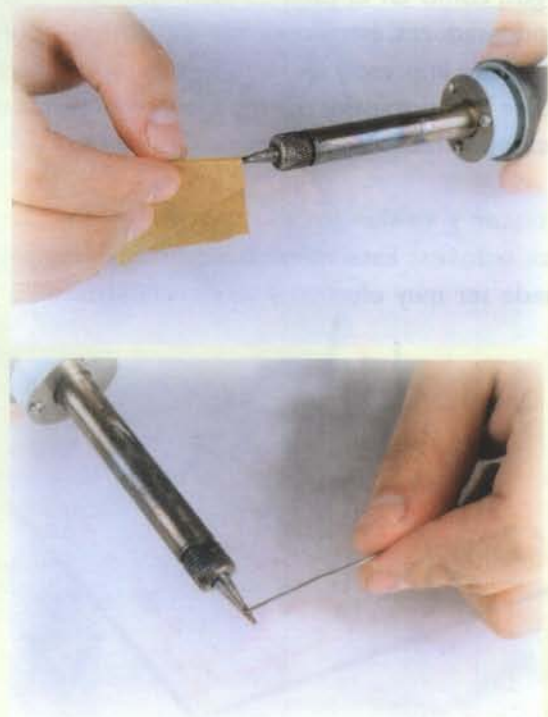


Figura 6.4. Estañado del cautín

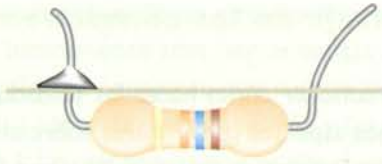


Figura 6.5. Doblando los terminales para que el componente se sostenga

circuito impreso, ya que algunas veces un mismo elemento electrónico puede tener diferentes presentaciones (cambia la forma y el tamaño). El montaje en sí consiste en instalar los componentes en el circuito impreso, dejándolos listos para el proceso de soldadura; para hacer esta tarea existen diferentes métodos, como veremos a continuación.

Montar y soldar cada componente uno por uno: Es el método ideal cuando el circuito no es muy grande y se dispone de buen tiempo y paciencia. Se puede instalar muy bien cada elemento, verificando su posición y efectuando la soldadura detalladamente, lo que nos asegura una muy buena calidad de ensamblaje. Este método también permite hacer una última revisión al diseño del circuito impreso verificando cada una de las conexiones. Cuando los componentes tienen terminales largos, como en el caso de las resistencias y los condensadores, éstos se deben apoyar bien sobre el circuito impreso y luego se deben doblar ligeramente sus terminales para que el componente se sostenga y facilite la soldadura. **Figura 6.5**

Montar y soldar los componentes por tandas o lotes: Este método intermedio también puede ser muy efectivo y se ejecuta instalando y

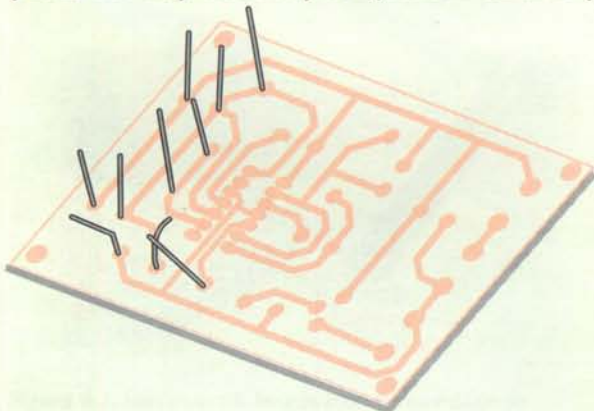


Figura 6.6. Montaje de algunos componentes para su soldadura

soldando varios componentes a la vez como grupos de resistencias, condensadores, transistores, bases para circuitos integrados, etc. Una buena costumbre sería montar y soldar lotes de cinco resistencias, por ejemplo. Esto permite acomodar y apoyar bien los componentes sobre la superficie del circuito impreso. **Figura 6.6**

Montar y soldar todos los componentes a la vez: Este sistema no es el más recomendable debido a que, por debajo del circuito impreso, se forma una gran congestión o “enredo” de terminales. Esto dificulta el proceso de soldadura y el posicionamiento de los componentes, ya que estos poseen diferentes formas y tamaños. **Figura 6.7**

Orden en el montaje

Para facilitar y hacer un buen montaje es necesario efectuarlo con cierto orden, especialmente debido a que la forma y tamaño de los componentes así lo requiere. Por lo tanto, sugerimos instalar y soldar primero los componentes de menor altura, como los puentes de alambre, luego las resistencias, los diodos, las bases para los circuitos integrados, los condensadores no polarizados (cerámicos, de poliéster, etc), los condensadores electrolíticos pequeños, los transistores y, por último, los componentes de mayor altura como los condensadores electrolíticos grandes los disipadores de calor y los conectores, entre otros.

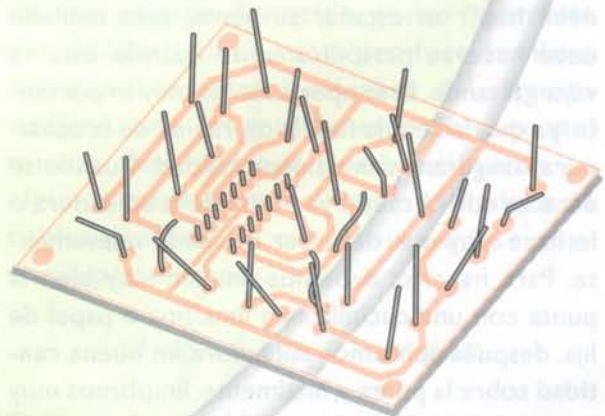


Figura 6.7. No es recomendable montar todos los componentes a la vez antes de hacer las soldaduras

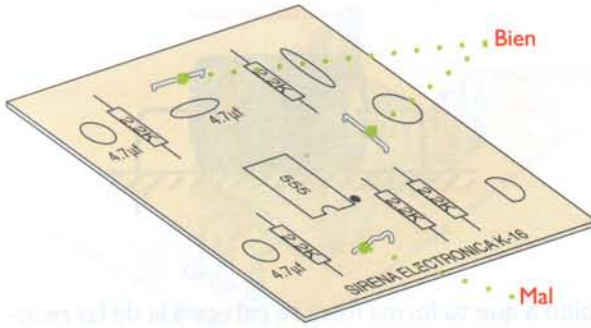


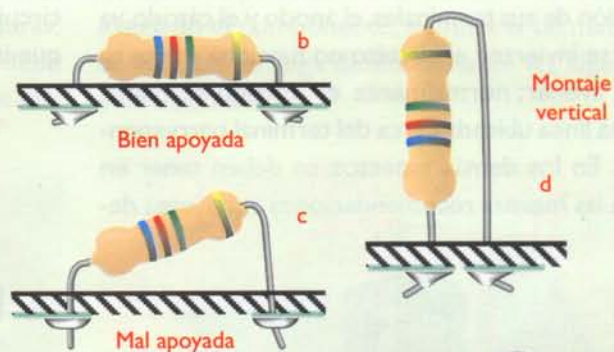
Figura 6.8. Puentes de alambre

Este orden propuesto no siempre es el mismo debido a la gran variedad de circuitos y componentes que hay en electrónica y debe ser la persona que ensambla el circuito quien determine en qué orden se hace el montaje, pero siempre teniendo en cuenta el ir de menor a mayor, en cuanto a la altura del componente. Un transformador que vaya en el circuito impreso, por ejemplo, se debe montar en último lugar ya que su tamaño y peso dificultarán la manipulación del circuito para el montaje de los demás componentes. Vamos ahora a dar algunas recomendaciones particulares sobre la instalación y soldadura de los componentes más comunes encontrados en los circuitos electrónicos.

Puentes de alambre. Estos son los primeros elementos que se deben instalar y soldar para po-

der apoyar la plaqueta durante el proceso. Ellos permiten la conexión de puntos del circuito impreso que no se pudieron lograr por medio de los trazos de cobre. Para hacerlos se utiliza alambre estañado calibre 22, el cual se puede obtener fácilmente del cable telefónico (eliminando su cubierta aislante). Corte los cables dos centímetros más largos que la longitud del puente e insérteles en los dos orificios provistos para él, halando fuertemente sus extremos con una pinza para que queden bien rectos y apoyados sobre la superficie del circuito impreso. **Figura 6.8.** Por el lado posterior, doble ligeramente sus terminales para que se sostengan y puedan hacerse las soldaduras.

Resistencias. Para montarlas doble en ángulo recto sus terminales dejando unos dos o tres milímetros desde el cuerpo hasta el terminal. Para la estética es importante que éstas queden centradas sobre los dos orificios de montaje y bien apoyadas sobre la superficie del circuito impreso. Las de potencia (mayores de 2 vatios), se deben montar ligeramente levantadas de la superficie con el fin de no recalentar la plaqueta. Algunas veces, para ahorrar espacio, las resistencias se montan en forma vertical, para lo cual se recomienda doblar el terminal superior en ángulo recto. Como método para organizar el trabajo, se recomienda instalar las resisten-



Resistencias de potencia

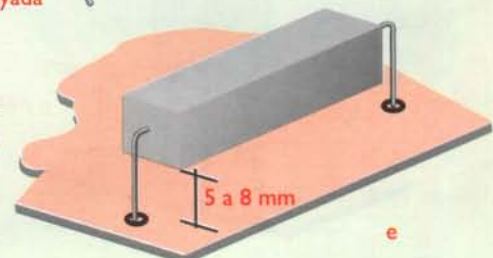


Figura 6.9. Montaje de las resistencias en un circuito impreso



Figura 6.10. Montaje de los condensadores

cias en orden ascendente, R1, R2, R3, etc., lo que permite ir chequeando con la lista de materiales y la guía de montaje. Figuras 6.9a, b, c, d y e.

Condensadores. Normalmente se utilizan dos tipos de condensadores: los polarizados o electrolíticos y los no polarizados. Con respecto al montaje, los polarizados vienen en dos formas: radiales y axiales. Para su montaje se debe tener en cuenta su correcta ubicación, con tal fin los circuitos impresos vienen generalmente marcados con un signo positivo (+) que sirve como guía para la persona que hace el ensamblaje; también se debe apoyar bien el condensador sobre la superficie del circuito impreso. Figura 6.10. Tal como lo mencionamos para las resistencias, es una buena costumbre montar los condensadores en orden (C1, C2, C3, etc.), y de menor a mayor en cuanto a su tamaño se refiere.

Diodos. El aspecto más importante para tener en cuenta en el montaje de los diodos, es la correcta ubicación de sus terminales, el ánodo y el cátodo, ya que si se invierten el circuito no funciona y éste se puede averiar; normalmente el cátodo se marca con una línea ubicada cerca del terminal correspondiente. En los demás aspectos, se deben tener en cuenta las mismas recomendaciones anteriores de-

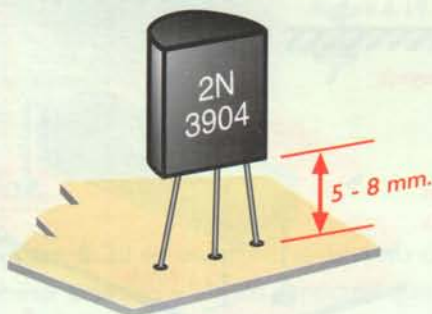


Figura 6.11. Montaje de los transistores pequeños

bido a que su forma física se parece a la de las resistencias. También se debe tener en cuenta que el tiempo para la soldadura debe ser menor, ya que estos se pueden averiar si se calientan demasiado.

Transistores pequeños. El aspecto más importante con ellos es conservar la posición correcta de sus terminales: emisor (E), base (B) y colector (C), en los transistores bipolares; y fuente o surtidor (S), drenador (D) y compuerta o gate (G), en los transistores tipo FET. Se debe dejar un espacio de unos 5 a 8 mm entre el circuito impreso y el cuerpo del componente, para permitir el contacto de las puntas de prueba de los instrumentos (multímetros, osciloscopios, etc.). Figura 6.11. La soldadura de sus terminales debe hacerse rápido ya que son sensibles a las altas temperaturas y pueden averiarse.

Transistores de potencia. Generalmente éstos se montan sobre disipadores de calor externos al circuito impreso con sus respectivos accesorios, que incluyen aislantes de mica y plástico, y los tor-

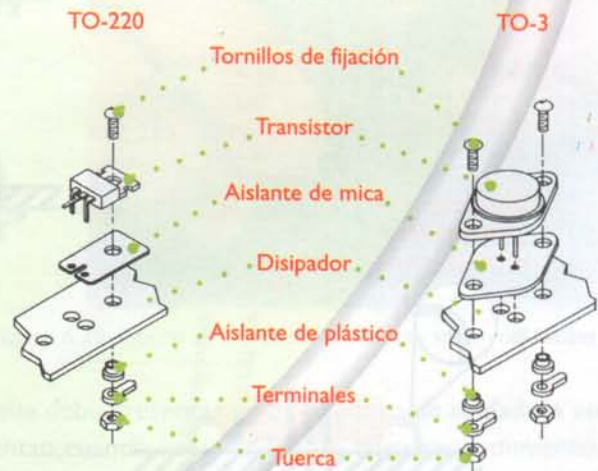


Figura 6.12. Montaje de transistores de potencia

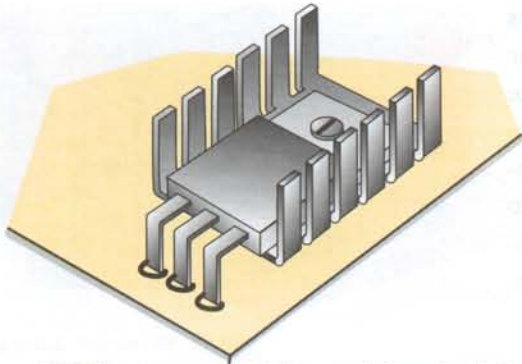


Figura 6.13. Transistores, triacs, SCR y reguladores de voltaje montados sobre un disipador en el circuito impreso

nillos correspondientes. La **figura 6.12** muestra la forma en que se hace el montaje para los dos tipos de transistores de potencia más comunes; el encapsulado o empaque que ellos poseen se conoce con el nombre de TO-220 y TO-3.

Algunos transistores de mediana potencia o circuitos integrados tales como los reguladores de voltaje, pueden ir montados sobre el circuito impreso incluyendo un disipador más pequeño. Estas indicaciones se pueden asimilar también para los SCR y triacs que tienen la misma forma, generalmente del tipo TO-220. **Figura 6.13**

Circuitos integrados. Se deben montar preferiblemente sobre bases o sockets, **figura 6.14**, con el fin de poder reemplazarlos fácilmente en caso de avería. Cuando se estén haciendo las soldaduras, ya sea de la base o del circuito integrado, se debe tener mucho cuidado de no unir con ellas dos ter-

minales adyacentes ya que estos se encuentran muy cerca. En el momento de instalar el circuito integrado sobre la base, se debe observar la posición correcta, indicada generalmente por un círculo en el pin N° 1. **Figura 6.15**

Conectores. Para las conexiones externas al circuito impreso (interruptores, potenciómetros, diodos LED, parlantes, transistores de potencia, etc.) se deben utilizar, en lo posible, conectores que permitan conectar y desconectar fácilmente estos elementos. En su montaje, debe verificar que queden en la posición correcta y bien apoyados sobre el circuito. Para su soldadura se requiere generalmente dejar el caudín un tiempo ligeramente mayor que el utilizado en los demás componentes, debido a que sus terminales son más gruesos y requieren mayor calor para asimilar la soldadura.

Cómo hacer buenas soldaduras

Para hacer una buena soldadura son necesarias varias condiciones a saber: tener el caudín bien estañado, que su punta esté a una buena temperatura, y que los terminales de los componentes, alambres y el circuito impreso, estén muy limpios. También hay que montar los componentes y demás elementos que van a ser soldados, colocándolos en la posición correcta. Una vez que se ha instalado el componente, alambre o terminal que se va a soldar, siga detenidamente las siguientes instrucciones:

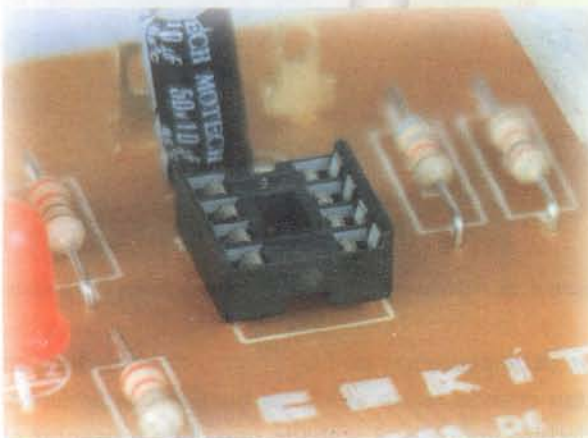


Figura 6.14. Montaje de bases para los circuitos integrados

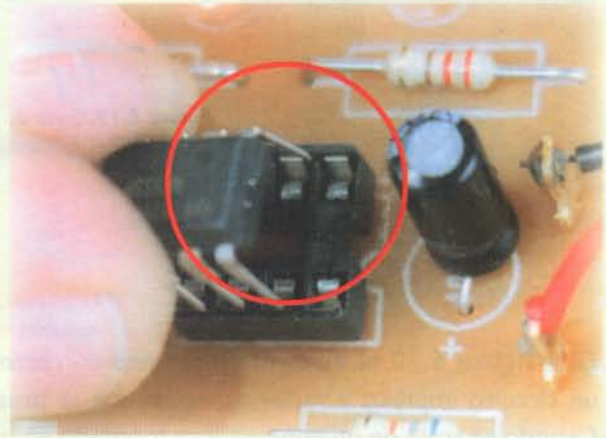


Figura 6.15. Montaje correcto del circuito integrado sobre la base

Paso 1: Limpie muy bien, con una cuchilla, la parte de los componentes y el circuito impreso en donde se va aplicar la soldadura. De una buena limpieza depende en gran parte la calidad de la soldadura. En el caso de los circuitos impresos, es muy probable que cuando los recibe el usuario hayan estado almacenados por un tiempo y estén un poco oxidados. Si es así, limpie bien cada uno de los puntos donde se hacen las soldaduras de los terminales de los componentes antes de ensamblar el proyecto. **Figura 6.16**

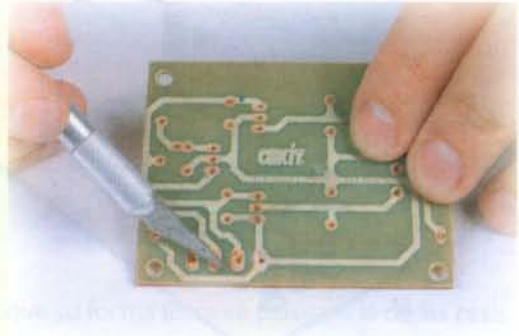


Figura 6.16. Limpieza del circuito impreso

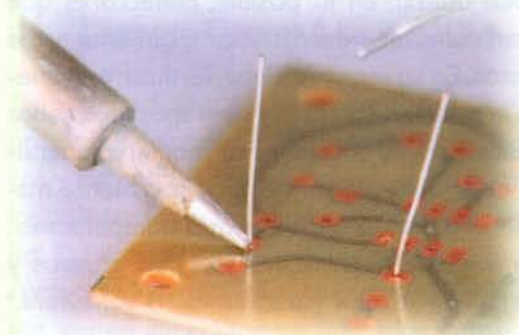


Figura 6.17. El calor se debe aplicar sobre los dos elementos simultáneamente

Paso 2: Una vez que el caudín esté bien caliente, aplique con firmeza calor con la punta a las dos superficies simultáneamente (el circuito impreso y el terminal del componente), haciendo perfecto contacto entre ellas y dejándolo así unos tres o cuatro segundos. **Figura 6.17**



Figura 6.18. Aplicación de la soldadura. El caudín debe permanecer inmóvil

Paso 3: Aplique soldadura moderadamente durante dos o tres segundos y retírela dejando aún el caudín en el punto de contacto. El estaño se fundirá y fluirá por toda la zona del punto tomando la forma de los conductores soldados. Retire luego el caudín y deslícelo por el terminal hacia arriba; deje enfriar el punto, procurando no hacer ningún movimiento hasta que hayan transcurrido unos 10 segundos. **Figura 6.18**



Paso 4: Una vez hecha la soldadura, se deben cortar los terminales sobrantes en el caso de los componentes montados en un circuito impreso. **Figura 6.19**

Figura 6.19. Corte de los terminales sobrantes

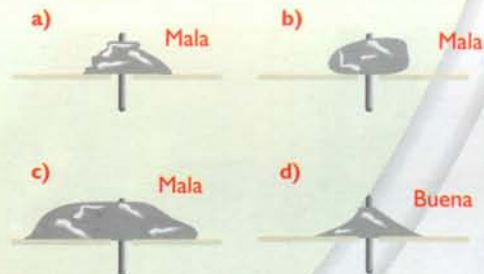


Figura 6.20. Aspecto de una buena soldadura y varias mal hechas

En la **figura 6.20** se muestran el aspecto correcto que debe presentar un buen punto de soldadura en un circuito impreso y varios aspectos que se presentan cuando no se utiliza un buen procedimiento. Cuando se trata de un componente montado en un circuito impreso, el acabado que debe presentar el punto de soldadura debe ser en forma de cono y no en forma esférica o abultada.

Lección 7

Los circuitos impresos universales

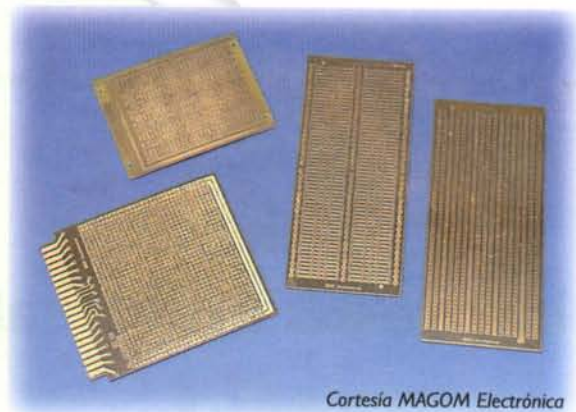
Los circuitos impresos universales o tableros de prueba con soldadura, como se les llama en ocasiones, permiten el montaje de proyectos electrónicos de una manera rápida y simple ahorrando así el tiempo que se invierte en diseñar y fabricar el prototipo del circuito impreso. Esta técnica se utiliza cuando solamente se va a ensamblar un solo circuito o proyecto.



Básicamente, un circuito impreso universal es un componente que sirve para montar en él prototipos de circuitos o proyectos electrónicos; es por esto que su estructura es similar a la del *proto-board*. En la **figura 7.1** se muestra la forma en que están unidos los puntos donde se insertan los pines de los componentes en uno de los modelos comunes (CEKIT EF-00).

Los circuitos impresos universales tienen diferentes tamaños y configuraciones, pero, en general, poseen columnas con 3 ó más perforaciones, separadas a una distancia de 0,1" (2,54 mm) lo que permite insertar fácilmente circuitos integrados normales, transistores, resistencias y condensadores, entre otros. Al igual que los *protoboards*, también tienen pistas de circuito impreso a lo largo de la tarjeta, las cuales sirven como buses o líneas para conectar los voltajes de alimentación. En la **figura 7.2** se muestran algunos tipos de circuito impreso universal que se pueden conseguir en el mercado y sus principales características.

Como ya lo hemos mencionado, para ensamblar un experimento o un proyecto electrónico, lo primero que se debe hacer es montar el circuito en un *proto-board*. De esta forma, podemos hacer fácilmente las pruebas y los cambios necesarios hasta lograr un diseño definitivo. Si el proyecto se



Cortesía MAGOM Electrónica

Figura 7.2. En el mercado se consiguen circuitos impresos universales de diferentes configuraciones y tamaños, la diferencia radica en el número de puntos que poseen y en la forma en que están distribuidos.

va a llevar a un montaje final por una sola vez, una buena opción es utilizar un circuito impreso universal. Así, se puede obtener un montaje permanente en muy corto tiempo. Si se desea producir en serie el diseño que se ha probado en el circuito impreso universal, se puede proceder a diseñar de un circuito impreso específico para ese proyecto.

Montaje de componentes en el circuito impreso universal

El montaje de un determinado circuito en esta forma depende del modelo seleccionado de circuito impreso universal. Por ello, debemos familiarizarnos con su estructura y analizar muy bien cada uno de los modelos disponibles. Los componentes que van unidos se deben insertar en las perforaciones de una misma columna. Cuando esto es imposible, dada la disposición de los pines o que los elementos están muy separados, se puede utilizar, para hacer puentes y conexiones, alambre telefónico calibre 20 ó 22, del mismo que se usa para hacer cableados en el *proto-board*. De esta forma, sólo se debe hacer una buena distribución de los componentes y luego se procede a soldar todos los terminales.

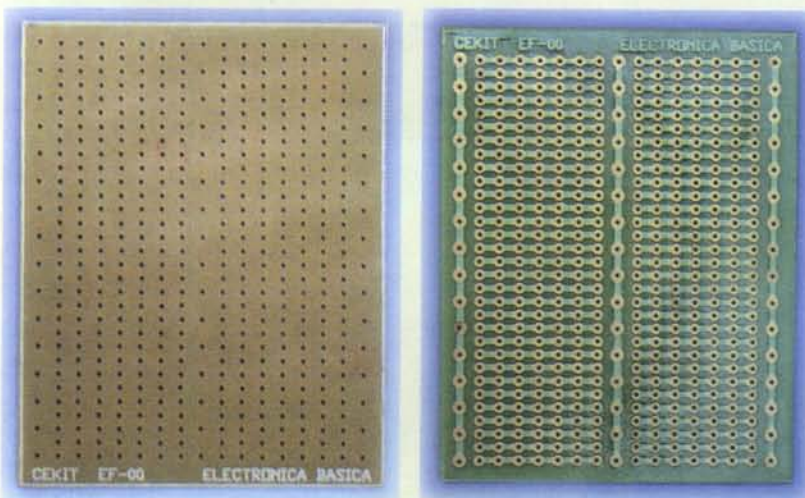


Figura 7.1 Estructura de un circuito impreso universal. Estos elementos están distribuidos de forma similar a los *protoboards*, incluyen columnas con varias perforaciones separadas a una distancia de 0,1" (2,54 mm) y líneas o buses para conectar la alimentación.

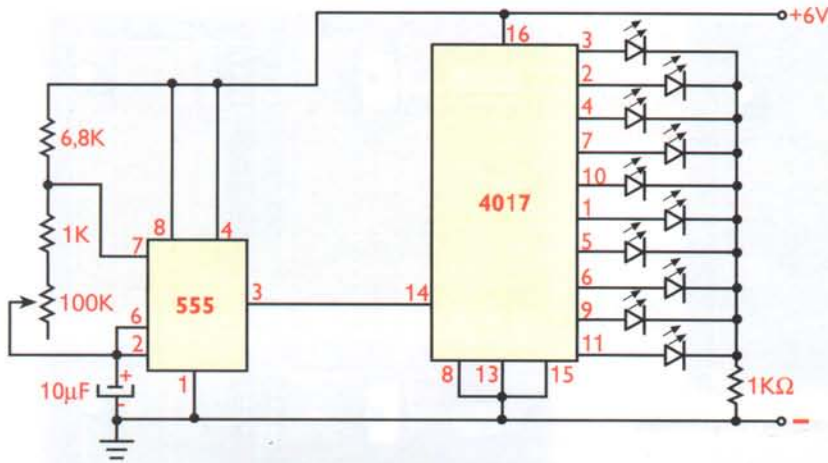


Figura 7.3. Diagrama del secuenciador de luces

Si el circuito electrónico que se monta, ocupa sólo una parte de la tarjeta, se puede recortar el resto con una sierra de dientes finos o con un bisturí, eso sí, no olvide dejar el espacio suficiente en las esquinas para hacer las perforaciones de los tornillos que fijan la tarjeta en la caja o *chasis* del proyecto.

Dado que estos circuitos impresos poseen una gran cantidad de puntos de cobre expuestos al aire, éstos tienden a oxidarse fácilmente dificultando el proceso de soldadura. Por esta razón, se recomienda limpiar muy bien los puntos donde se van a in-

sertar los pines de los componentes antes de proceder al ensamblaje y posterior soldadura de los mismos.

Ejemplo práctico

Para aprender a utilizar este tipo de circuitos, vamos a explicar paso a paso el ensamblaje de un proyecto en el circuito impreso universal CEKIT EF-00. En esta ocasión seleccionamos para el ejemplo un sencillo circuito secuenciador de luces con

diez diodos LED y dos circuitos integrados, un 555 como generador de pulsos y un 4017 como secuenciador y manejador (*driver*) de los LED, cuyo diagrama esquemático se muestra en la **figura 7.3**.

Primero analizamos detalladamente el diagrama esquemático con el fin de establecer una distribución adecuada de los componentes que nos facilite el ensamblaje. De acuerdo a este análisis, decidimos ubicar los dos circuitos integrados a la izquierda en el canal central y para ello instalamos las dos bases, primero la de 8 pines para el 555 y luego, la de 16 pines para el 4017, **figura 7.4**.

Para la orientación de los pines de los circuitos integrados definimos la línea (*bus*) superior como la alimentación negativa y la línea (*bus*) inferior como la alimentación positiva, en cuyos extremos instalamos dos terminales o espadines que nos faciliten la conexión de la fuente de alimentación, **figura 7.5**. De acuerdo a esto, e iniciando con el ensamblaje

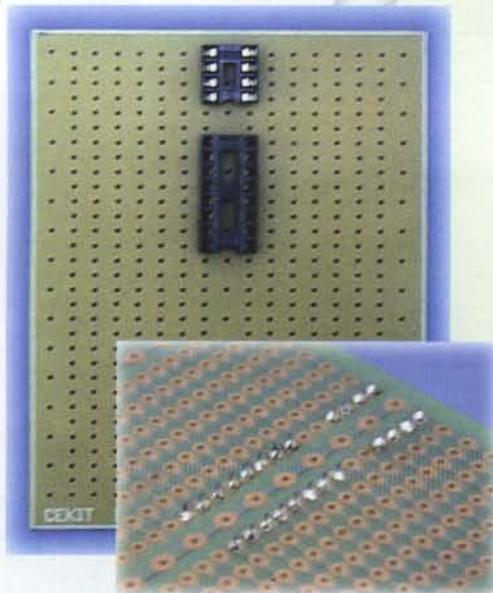


Figura 7.4. Montaje de las bases para los circuitos integrados y su soldadura en la parte posterior

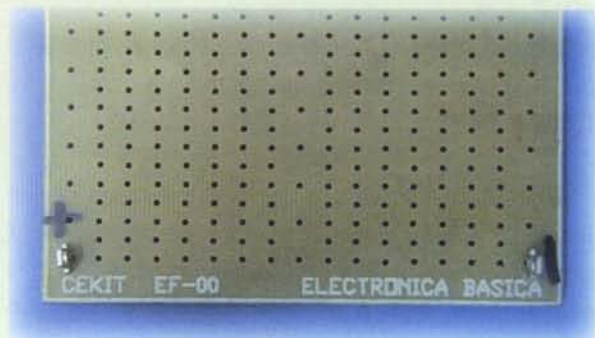


Figura 7.5. Insatación de dos espadines en las líneas (*bus*) laterales para la alimentación del circuito

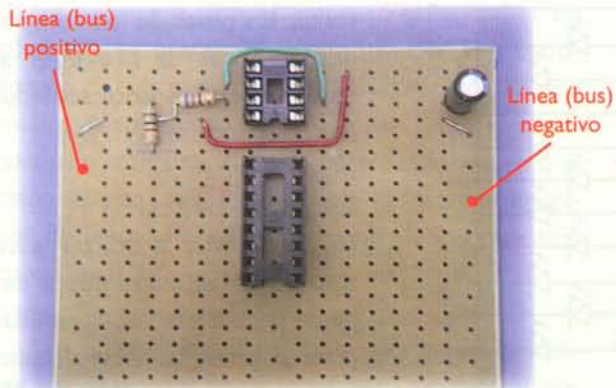


Figura 7.6. Instalación y conexión de los primeros componentes del circuito generador de pulsos



Figura 7.7. En el potenciómetro se deben unir dos de sus terminales antes de montarlo

del generador de pulsos, conectamos el pin 1 del 555 al bus negativo (-) y el pin 8 del 555 al bus positivo (+), por medio de puentes de alambre.

Luego continuamos con los demás elementos de este circuito siguiendo el diagrama, **figura 7.6**. El último componente de esta parte del circuito que se monta es el potenciómetro de 100 KΩ, haciendo un puente entre dos de sus terminales y buscando que quede situado al borde del circuito impreso para facilitar su manipulación, **figura 7.7**.

Luego unimos el pin 3 del 555 con el pin 14 del 4017 para interconectar los dos circuitos y la alimentación del 4017 uniendo sus pines 8, 13 y 15 al bus negativo y el pin 16 del mismo al bus positivo, **figura 7.8**.

Por último, debemos ir conectando en orden los diodos LED a las diferentes salidas del 4017 observando muy bien los pines utilizados. Según la distribución de este modelo de circuito impreso universal y el espacio disponible, decidimos instalar los LED en forma de escala. Iniciamos con el

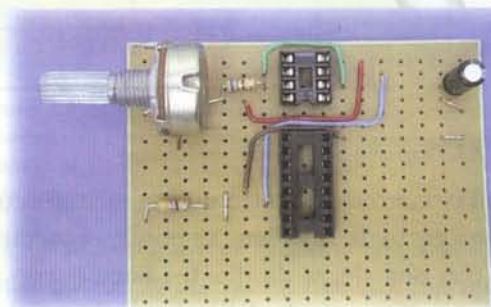
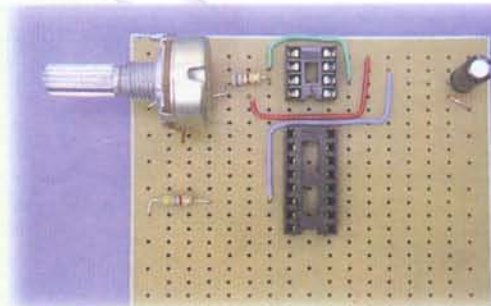


Figura 7.8. Continuación de las conexiones del circuito siguiendo el diagrama

LED 1 que va al pin 3 del 4017, con el ánodo conectado en la misma fila del pin y el cátodo doblado para insertarse 7 orificios más adelante para que en esa fila quede el terminal común de los primeros diodos. Luego vamos instalando los otros diodos LED logrando su conexión con los pines del 4017 y el terminal común que une los cátodos. Por último instalamos y soldamos la resistencia de 1 KΩ. **Figura 7.9**

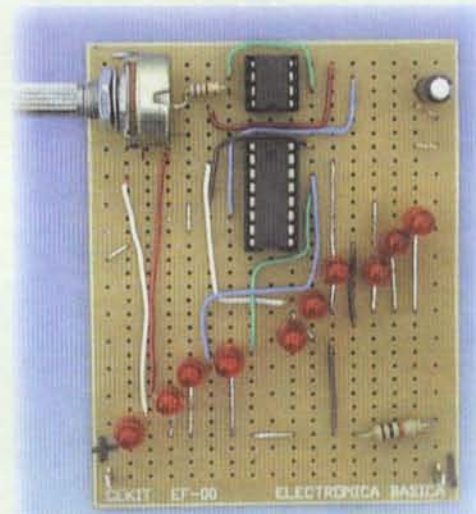


Figura 7.9. Instalación y conexión de los diodos LED y la resistencia de 1 KΩ

El bastidor o chasis para aparatos electrónicos

El diseño adecuado del chasis para un aparato electrónico es fundamental, tanto para la buena presentación del mismo, como para garantizar su correcto funcionamiento y durabilidad. En esta práctica veremos algunas recomendaciones que nos pueden servir para elaborar nuestros propios diseños.



Una vez que se ha terminado el ensamblaje del circuito impreso de un proyecto o prototipo, se debe fabricar un bastidor o chasis, con el fin de completar un determinado aparato electrónico. Muchas veces, los estudiantes y los que se inician en electrónica no consideran este aspecto importante y los proyectos se quedan sin terminar, averiándose en depósitos o pasando al olvido.

También, a menudo por falta de algunas herramientas o materiales simples, o por falta de iniciativa, conocimientos o habilidades, se dejan los circuitos armados en un *proto-board* o sólo en circuitos impresos con cables que salen por todas partes y se pierde todo el trabajo anterior. En un momento dado, un buen chasis o empaque puede significar, para un aparato electrónico, el paso de ser un simple prototipo o proyecto a un producto de fabricación y venta masiva. En esta práctica veremos unas sencillas recomendaciones que nos permitirán terminar el proceso de fabricación de los prototipos, de los que hemos estado hablando en las prácticas anteriores.

¿Qué es un chasis en electrónica?

Entre las principales funciones que cumple un chasis en un aparato electrónico están las siguientes:

- Soporta y reúne en un sólo empaque todos los elementos del proyecto.
- Le da un aspecto físico agradable para que el aparato pueda hacer parte del conjunto de elementos utilizados por el hombre, como los muebles, los aparatos eléctricos, los libros, etc.
- Permite la instalación de los controles, indicadores y visualizadores externos, con el fin de poder manipularlos y observarlos fácilmente.

Tipos de chasis

Existen muchas clases de chasis o cajas para los aparatos electrónicos y, aunque en un principio casi todos ellos tenían una forma rectangular, actualmente el diseño industrial y las

técnicas de fabricación masiva han incorporado formas y materiales muy novedosos, acordes con la presencia múltiple y permanente de todo tipo de aparatos en la vida del hombre.

Es así como tenemos aparatos de televisión, sistemas de sonido, teléfonos fijos y móviles, receptores de radio, computadoras, calculadoras, equipos de oficina, instrumentos de medida y muchos otros sistemas electrónicos con un diseño realmente agradable a la vista y funcional desde el punto de vista ergonómico. **Figura 8.1.** Sin embargo, este tipo de chasis solo se pueden producir en grandes series o cantidades debido a la necesidad de troqueles (sistemas de corte y proceso en serie por medio de máquinas), o moldes de inyección para plásticos y otros materiales similares que son elementos comunes en las grandes fábricas de aparatos electrónicos y que no están al alcance del aficionado.

Para la elaboración de los chasis para los proyectos a nivel experimental, debemos entonces recurrir a formas sencillas y materiales accesibles que con un poco de imaginación y creatividad, les brinden un aspecto agradable y funcional. Los chasis se fabrican de diversos materiales siendo los principales las láminas metálicas de hierro o aluminio, el plástico, el acrílico, la madera, o la combinación de éstos. Para los prototipos se recomienda principalmente las láminas de aluminio o de hierro, también,



Figura 8.1. Aparatos electrónicos modernos

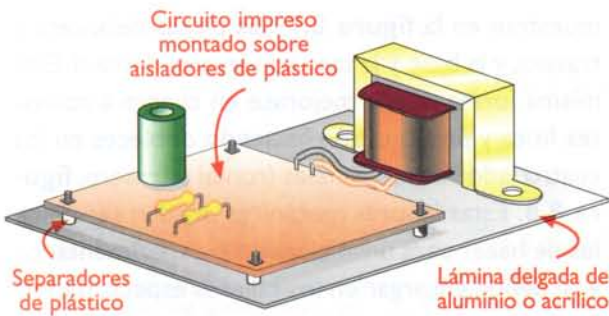


Figura 8.2. Chasis rectangular sencillo

las láminas de acrílico y madera. Las láminas de aluminio y el acrílico tienen la ventaja de permitir una fácil perforación y manipulación, lo que puede hacer cualquier aficionado con herramientas caseras.

Formas básicas de los chasis

El chasis electrónico más simple puede ser una lámina metálica o de acrílico en forma rectangular. Si el aparato es sencillo y se está trabajando en forma experimental, podemos acomodar los elementos en una superficie plana, tal como se muestra en la **figura 8.2**. Esto evita que los circuitos impresos y algunos componentes estén sueltos, se produzcan cortocircuitos, y un mal funcionamiento.

Para su diseño, basta con distribuir con una buena alineación y disposición los diferentes elementos y establecer las medidas de la lámina. Luego, se recorta y se perfora de acuerdo a los orificios de los circuitos impresos y de los otros elementos tales como los transformadores; y, finalmente, se aplica pintura si es de lámina y así quedará listo para montar en él los elementos del aparato. Otra forma muy simple, para un chasis de un prototipo, es el tipo en "L", en este modelo se sue-

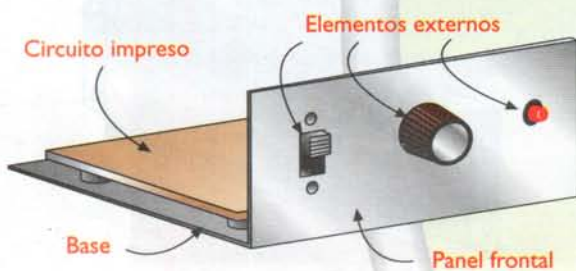


Figura 8.3. Chasis en forma de "L"

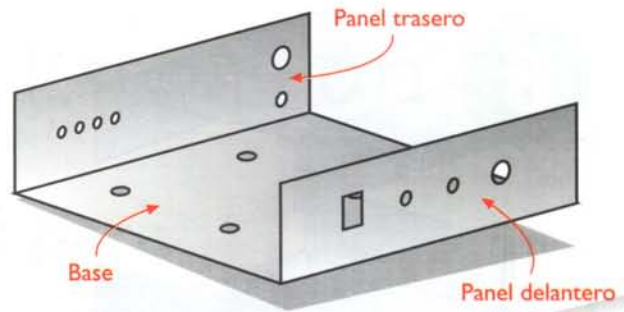


Figura 8.4. Chasis en forma de "U"

le instalar en la base el circuito impreso y otros componentes como el transformador, si el circuito lo lleva, y los controles y conectores de entrada y salida, en la parte frontal, **figura 8.3**.

Los procedimientos básicos de fabricación para este tipo son: diseño del modelo con las medidas y sitios de los orificios, recorte y perforación de la lámina, doblado en "L" y, por último, pintura y marcado de los letreros.

Otro tipo muy común es el chasis en forma de "U", en el cual ya se utilizan dos piezas: la base y la tapa. Esto le brinda un aspecto más profesional al aparato y así lo podemos dejar para su utilización permanente, o su fabricación en serie. En este modelo, la base tiene tres superficies: la base propiamente dicha, la parte delantera llamada panel frontal y la parte de atrás llamada panel trasero, **figura 8.4**.

En la base se montan o instalan: el circuito impreso, el transformador, si lo hay, o una pila o batería si la alimentación es interna; en el panel delantero se ubican generalmente los interruptores, los indicadores luminosos como diodos LED o *displays*, los conectores para entrada o salida de señal y los potenciómetros para el control de las funciones del aparato, entre otros. En el panel trasero van generalmente conectores de entrada o salida de señales,

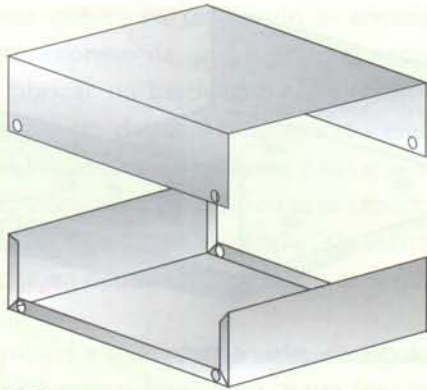


Figura 8.5. Tapa que se asegura en los bordes laterales de la base

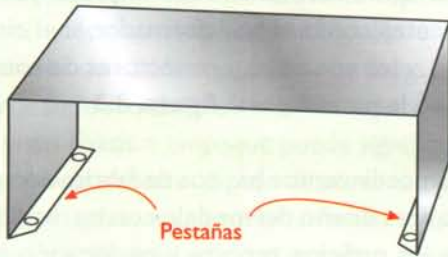


Figura 8.6. Tapa con pestañas

perforaciones para el cable de alimentación del aparato, y portafusibles. Como se puede deducir fácilmente, la ubicación de los terminales de salida o conectores instalados en el circuito impreso deben estar en los bordes apropiados para una conexión fácil a los demás elementos del chasis.

La tapa se puede fabricar en madera, acrílico, o lámina y debe tener la forma de "U" invertida, teniendo en cuenta de diseñarle una forma fácil de unión con la base para facilitar el ensamblaje del aparato. Si es en lámina, hay dos formas para esta unión: dejando una "pestaña" o pequeño doblé en los lados de la base para asegurar la tapa con tornillos, **figura 8.5**, o doblando la tapa en la parte inferior de sus lados para colocar los tornillos por debajo, **figura 8.6**. El primer método dificulta un poco la fabricación de la base y el segundo la de la tapa. Con la primera forma se pueden utilizar tapas de madera o acrílico, ya que éstas se pueden asegurar en las pestañas laterales.

Otra forma de chasis en la cual se puede facilitar su fabricación, tanto para el aficionado, como para su producción industrial, es la de un chasis en cuatro piezas (base, tapa, panel frontal y panel trasero), cuya estructura básica y componentes se

muestran en la **figura 8.7**. Las piezas delantera y trasera, y la base y la tapa son iguales entre sí. Esta misma forma puede mejorarse en cuanto a robustez física y presentación haciendo dobleces en los cuatro lados de los paneles frontal y trasero, **figura 8.8**. Estas labores mecánicas pueden ser difíciles de hacer para un aficionado o experimentador y se deben encargar en los talleres especializados.

Podemos tener otras formas menos tradicionales para fabricar los chasis de los prototipos o experimentos utilizando elementos como tubos de polivinilo (PVC), perfiles de aluminio de los utilizados en construcción, acrílicos, fibra de vidrio, plásticos termoformados, etc.; todo depende de la imaginación, de la creatividad, y de la decisión de hacer algo por parte de la persona que tenga que resolver el problema. Lo más importante es no dejar los proyectos en forma de "esqueleto" sin una forma o cuerpo definidos; esto les da un mal aspecto y podría significar la diferencia entre un experimento que se queda sin terminar en una mesa de trabajo o un producto exitoso que proporcione un rendimiento económico importante para su diseñador o fabricante.

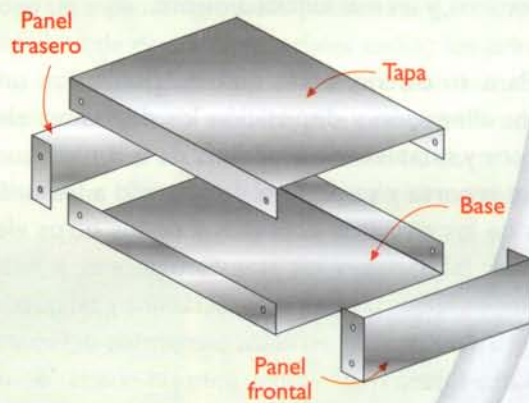


Figura 8.7. Chasis de cuatro piezas

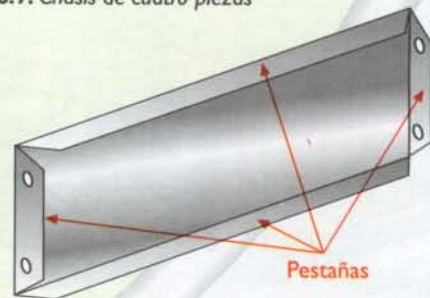


Figura 8.8. Panel frontal y trasero con pestañas en los cuatro lados

Fabricación del chasis

Para la fabricación de los chasis hay tres opciones: comprar una caja metálica o de plástico de tipo genérico y adaptarla a nuestras necesidades, diseñar el chasis y ordenar su fabricación en un taller especializado, o fabricarlo nosotros mismos. También se pueden combinar la segunda y la tercera opción, encargando algunas partes del proceso a otras personas o empresas.

Para la primera alternativa, que es la más fácil, se puede optar por una caja con las medidas aproximadas a nuestros requerimientos y hacerle las perforaciones correspondientes a los elementos del proyecto. Si usted no es aficionado a este tipo de actividades, o no tiene la experiencia en fabricar objetos manualmente, ésta puede ser una buena oportunidad para iniciarse en dicha práctica o por lo menos entender como se hace. Hay que tener en cuenta que la fabricación de chasis requiere de ciertas herramientas especializadas y de algunas habilidades manuales, además de mucho cuidado, ya que algunas operaciones son peligrosas si no se realizan adecuadamente.

Si la cantidad de chasis que vamos a fabricar es poca, no se justifica tener un taller sólo para esta actividad. Sin embargo, esas herramientas pueden servir para muchas otras tareas caseras, lo que justificaría su adquisición si no es que ya las tiene en su hogar. Por otro lado, muchos de los aficionados o practicantes de la electrónica tienen acceso a talleres que trabajan con diferentes materiales en donde les pueden permitir hacer su chasis o se los pueden fabricar siguiendo su diseño e instrucciones. En el caso de las empresas, casi siempre hay en ellas una sección de metalmecánica en donde se pueden construir los chasis de los proyectos.

Pasos que se deben seguir para la fabricación

Los pasos que se deben seguir en el proceso de fabricación de un chasis son los siguientes:

1. Diseño preliminar en borrador

2. Diseño definitivo o plano en limpio
3. Elección y consecución de materiales
4. Operaciones mecánicas de corte, perforación y doblado
5. Barnizado o pintura del chasis
6. Marcado de los letreros indicativos

Consideraciones generales para el diseño de un chasis

Así como en el circuito electrónico y en el circuito impreso se parte de un diseño, en los chasis se debe seguir el mismo procedimiento. Inclusive, el diseño del circuito impreso se debe hacer teniendo en cuenta una idea básica de la conformación del chasis para que al llevar conexiones desde el circuito impreso hasta los diferentes elementos de los paneles, éstas queden organizadas en una forma lógica, corta y bien presentada.

Una vez determinada la forma básica, debemos hacer el diseño definitivo del chasis, que consiste en elaborar un plano completo del mismo ya sea para el uso personal o para fabricarlo en un taller cuando se trata de uno solo, o en una fábrica cuando se requieran varias unidades.

Entre las consideraciones y criterios más importantes que debemos tener en cuenta al diseñar un chasis, están las siguientes:

- El tamaño del chasis debe ser lo más preciso posible; ni muy grande ni muy pequeño, de tal forma que el ensamblaje del aparato o sea el montaje y la conexión de los diferentes elementos que lo componen, se pueda hacer fácilmente. Un chasis pequeño dificulta la manipulación y un chasis grande desperdicia material o puede dar un aspecto desagradable.
- El diseño del chasis, en cuanto a forma y tamaño, debe permitir una fácil reparación o mantenimiento del aparato cuando esto sea necesario. Todas las partes internas deben quedar accesibles para tomar medidas o permitir un fácil desarmado del equipo.

- Los controles, como interruptores y potenciómetros, deben permitir una fácil manipulación por parte del usuario.
- Los indicadores, como diodos LED, *displays* y los voltímetros o similares deben permitir una fácil y clara visualización.
- Los elementos sonoros como parlantes y zumbadores deben tener una salida libre para emitir su sonido.
- Los conectores, tanto de entrada como de salida, deben permitir una fácil conexión y desconexión de los elementos externos como bornes, bananas, enchufes, cables, etc.
- No deben quedar bordes o filamentos cortantes cuando el chasis se fabrica con láminas metálicas.
- Las conexiones o circuitos de alto voltaje deben quedar aislados para evitar choques eléctricos a los usuarios.
- El aspecto físico debe ser agradable a la vista en cuanto a forma, acabado, color y demás aspectos concernientes a la estética.

Para aplicar lo estudiado, tomemos por ejemplo un chasis sencillo como el que utilizamos para la fuente triple regulada del proyecto No. 10. Los elementos principales son: un circuito impreso, un transformador y los componentes externos (interruptor, bornes de salida y el indicador piloto de encendido).

1. Diseño preliminar en borrador

Como ya lo mencionamos, en este primer paso se determina una forma básica para el chasis. En este caso hemos escogido la base en forma de «U» (figura 8.4 y

una tapa con pestañas (figura 8.6) que lo complete. De acuerdo a la estructura del aparato, decidimos montar el transformador y el circuito impreso en la base y los elementos externos en los paneles frontal y trasero. Empezando con la base, se hace una distribución tentativa de los componentes del circuito (circuitos impresos, transformador, etc) y de los controles, indicadores y conectores, **figura 8.9**.

Luego, con las medidas de estos componentes y los espacios que los separan, definimos el rectángulo que contiene la base y los paneles frontal y trasero sin doblar, determinamos las medidas aproximadas del chasis (21,5 cm x 26,5 cm) y hacemos un dibujo a mano indicando en él las medidas. En este mismo dibujo trazamos las perforaciones y su ubicación exacta teniendo en cuenta primero las de la base

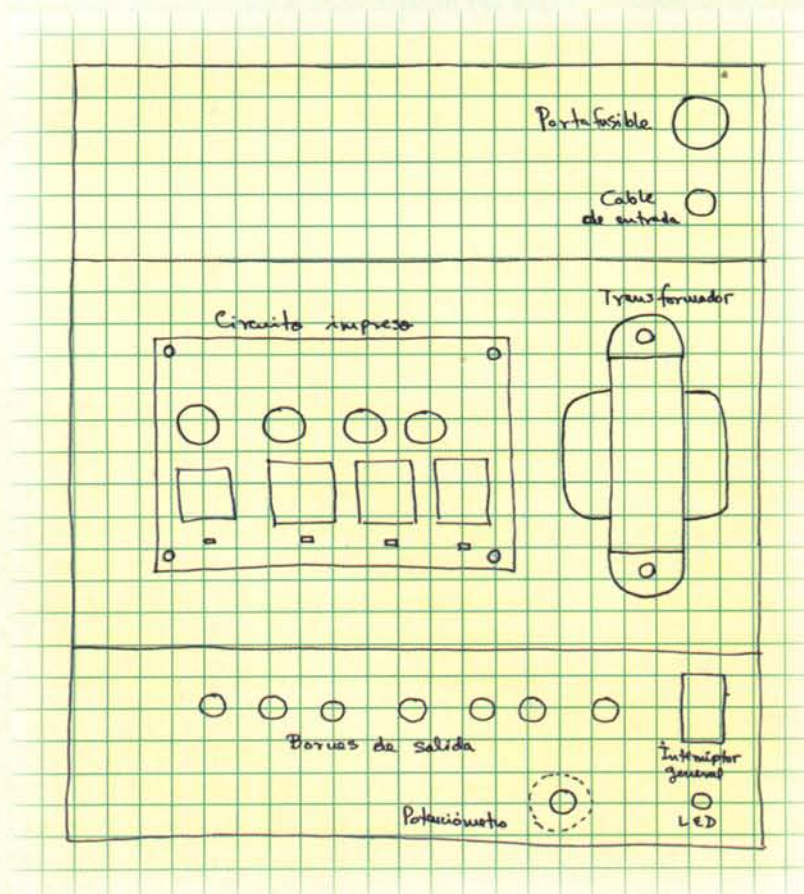


Figura 8.9. Distribución preliminar de los elementos

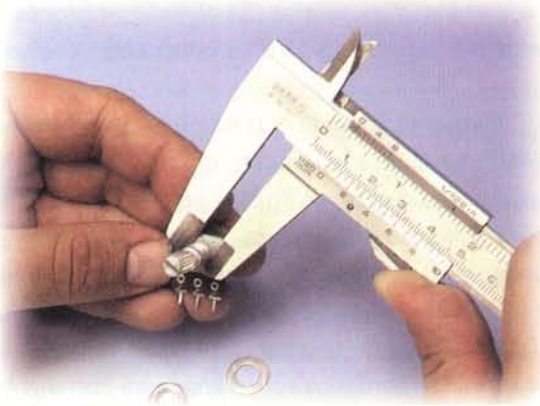


Figura 8.10. Tomando las medidas de los componentes

(transformador y circuito impreso) y luego los elementos externos midiendo los diferentes diámetros de los componentes utilizando un calibrador, **figura 8.10**, si es posible, o si no tenemos disponible esta herramienta de medida, lo hacemos con una regla.



Figura 8.12. Uso de la computadora para dibujar el plano final

Para ubicar los elementos externos debemos tener en cuenta una correcta alineación y distribución, y la facilidad de una conexión ordenada con los diferentes puntos del circuito impreso. En la **figura 8.11** se puede apreciar el resultado para este diseño preliminar.

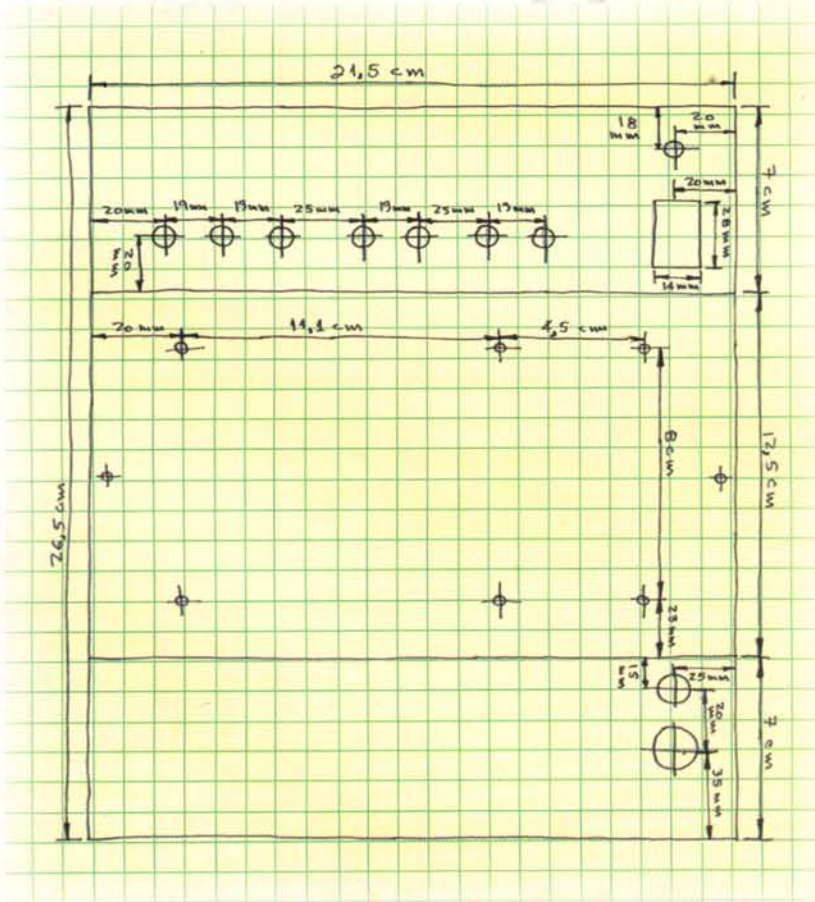


Figura 8.11. Dibujo en borador del chasis

2. Diseño definitivo o plano en limpio

Tomando las medidas exactas de cada componente, hacemos un plano definitivo del chasis, ya sea con instrumentos convencionales de dibujo (regla, escuadra, compás, plantilla de círculos, etc.) o por medio de algún programa de dibujo por computadora, **figura 8.12**. En la tecnología de las PC o compatibles se pueden utilizar los programas AutoCad o Corel Draw, entre otros, y en la tecnología Macintosh el programa FreeHand.

Si tenemos disponible una computadora, o fácil acceso a ella, es preferible utilizar el último método ya que nos permite hacer variaciones o cambios rápidamente sin tener que repetir todo el dibujo. También este método nos permite imprimir con gran calidad el di-

bujo final utilizando impresoras de chorro de tinta o láser, o aún mejor, un *plotter* o graficador. Volviendo con nuestro tema, vemos en la **figura 8.13** el plano definitivo del chasis con todas sus medidas indicadas. A partir de él, iniciamos la construcción del prototipo de nuestro ejemplo.

3. Elección y consecución de materiales

En la fabricación de los chasis para aparatos electrónicos, a nivel de prototipo, se utiliza preferiblemente lámina de aluminio, de hierro o de acrílico,

o la combinación de ellas. En algunas ocasiones, se puede utilizar madera para complementar el diseño.

De los anteriores, el más recomendado por la facilidad con que se le pueden hacer las operaciones mecánicas como corte, limado, perforación y doblado, es la lámina de aluminio. Cuando el aparato requiere de un soporte más fuerte, se utiliza la lámina de hierro. El acrílico, por la dificultad para doblarlo y la facilidad con que se quiebra, se utiliza para proyectos sencillos montados sobre una pieza rectangular.

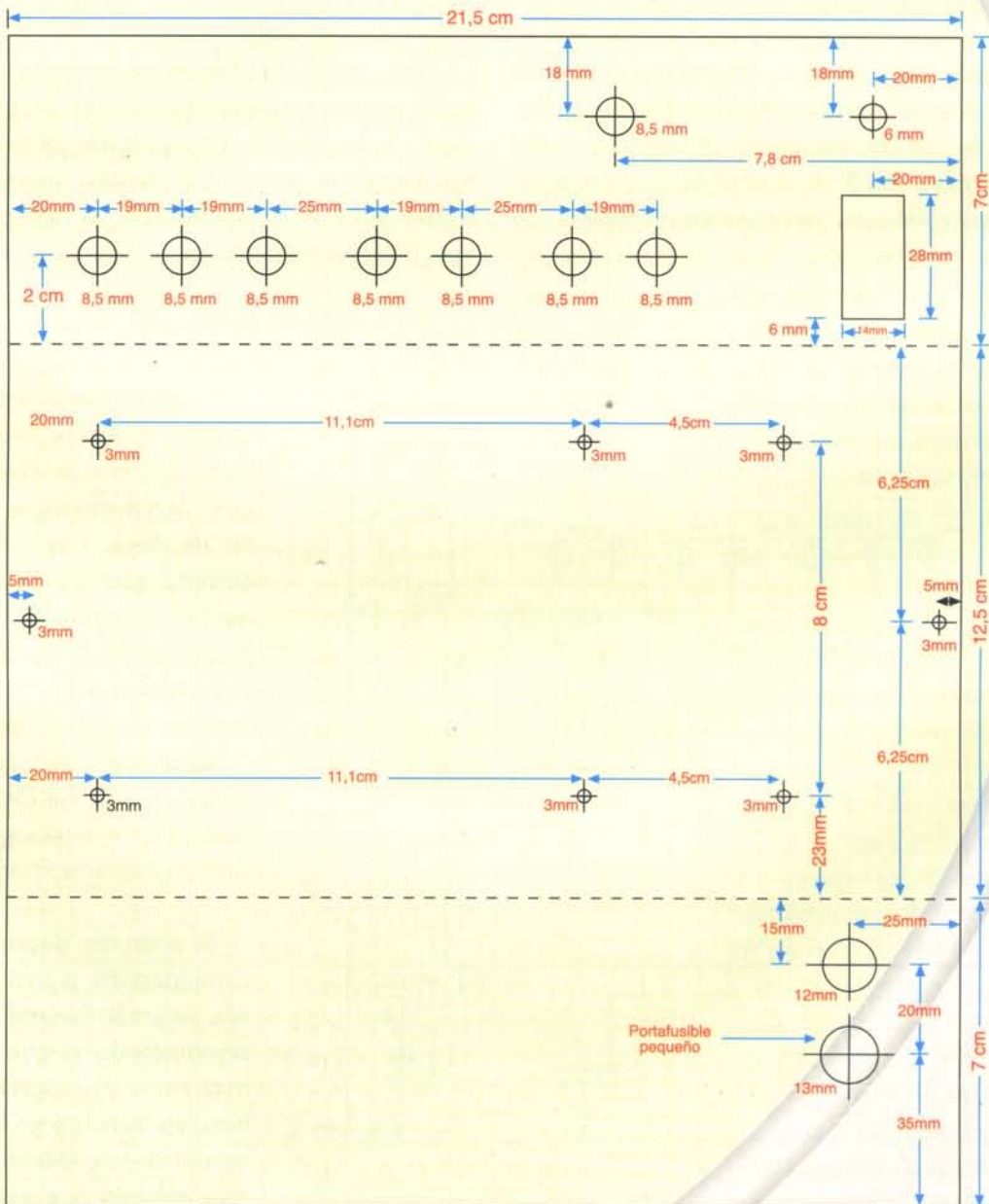


Figura 8.13. Plano definitivo del chasis incluyendo todas sus unidades

4. Operaciones mecánicas de corte, perforación y doblado

Una vez establecido en el diseño el tamaño definitivo del chasis, debemos cortar el pedazo de lámina correspondiente para luego perforarlo y doblarlo. Hay varias formas de cortar las láminas metálicas. La más indicada es una cizalla o máquina cortadora ya sea manual o de pedal, y, si ésta no se tiene disponible, una tijera especial. El corte con cizalla, **figura 8.14**, asegura que queden bordes rectos y alineados, mientras que el corte con tijera resulta un poco irregular. Como las cizallas no son elementos disponibles fácilmente, lo más indicado es llevar la lámina a un taller especializado e indicar las medidas para el corte apropiado. En el caso del ejemplo, el chasis es de 21,5 x 26,5 cm. Si utilizamos acrílico, el corte se puede hacer con una sierra de dientes finos, **figura 8.15**, haciendo previamente una marca de las líneas de corte con un rayador o bisturí.

Para la perforación del chasis se deben marcar, según el plano, los sitios para los orificios, los cuales pueden ser circulares, cuadrados, rectangulares



Figura 8.14. Corte de lámina con cizalla



Figura 8.15. Corte manual de piezas de acrílico

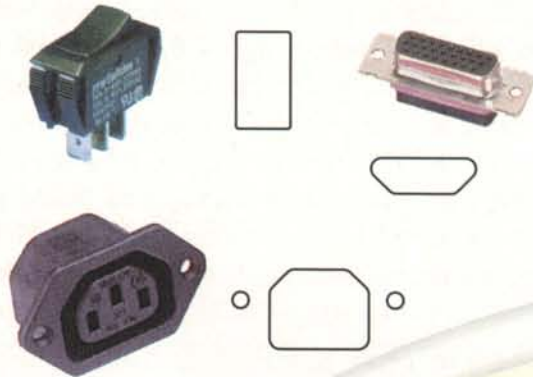


Figura 8.16. Perforaciones de tipo especial para algunos tipos de componentes utilizados en los chasis

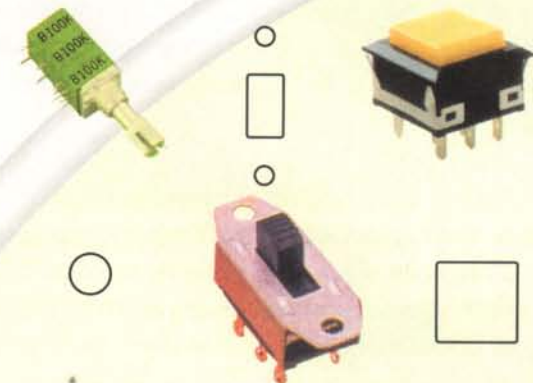


Figura 8.17. Perforaciones circulares y rectangulares

o con formas especiales, si algunos componentes así lo requieren. En la **figura 8.16** se muestran algunos componentes comunes en electrónica y su orificio para el montaje. Para los prototipos, lo más recomendado es utilizar solamente perforaciones circulares, ya que éstas son las más fáciles de hacer empleando un taladro. Por lo tanto, en el diseño del aparato o en la selección de los componentes, se deben escoger, en lo posible, aquellos que tengan esta forma.

Por ejemplo, en la **figura 8.17** tenemos varios tipos de interruptores con diferentes formas de montaje, circular o rectangular; por facilidad de montaje, en este caso, debemos utilizar el de tipo circular. Así mismo, tenemos conectores que utilizan tornillos para ser fijados a la lámina, por lo tanto, debemos tener en cuenta dichas perforaciones al momento de diseñar el panel del chasis.

Para marcar el sitio de los orificios hay dos métodos: midiendo cada uno de ellos siguiendo el pla-

no y tomando como referencia los bordes de la lámina y los otros puntos, **figura 8.18**, o más fácilmente, colocando el dibujo encima de la lámina y marcando con un *centropunto* o punzón cada uno de los centros para las perforaciones. Para este último método se debe sacar una copia del diseño, ya sea en la computadora, si en ella se dibujó, o una fotocopia normal y colocarla sobre la lámina doblando sus bordes sobre ella, **figura 8.19**. Si utiliza una fotocopia, asegúrese bien, antes de colocarla que tenga las mismas medidas que el dibujo original ya que algunas veces en este proceso se amplía o reduce el tamaño ligeramente lo que podría afectar las medidas del chasis. Una vez que se ha marcado el punto para cada agujero, se procede a perforar según las medidas del diseño.

Precaución importante. El proceso de perforación de láminas metálicas implica seguir ciertas normas o reglas de seguridad, ya que de no hacerlo, se corre el riesgo de sufrir heridas graves en las manos que las podrían dejar seriamente afectadas. El prin-



Figura 8.18. Midiendo la posición de las perforaciones. Esto facilita el uso del taladro



Figura 8.19. Plantilla con fotocopia para marcar las perforaciones

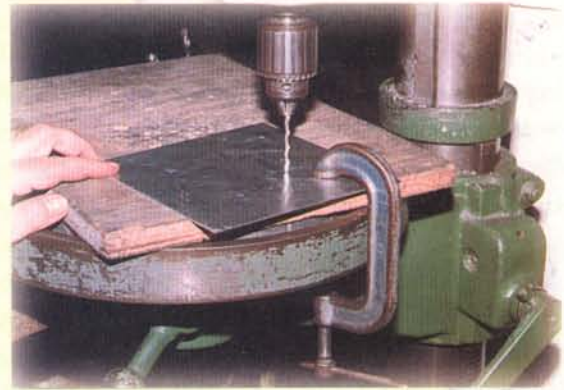


Figura 8.20. Forma de asegurar la lámina con una prensa para evitar accidentes en el proceso de taladrado



Figura 8.21. También se puede asegurar la lámina con un «hombresolo» si no tenemos una prensa

cipal aspecto que se debe tener en cuenta es asegurar firmemente la lámina durante su perforación, ojalá con una prensa sobre la superficie de trabajo, **figura 8.20**, para que ésta no gire cuando penetra la broca. Esto puede ocurrir con perforaciones relativamente grandes, del orden de 1/4" y mayores. Si se va a sostener con la mano, se debe hacer firmemente y en lo posible, utilizando un guante de cuero o algún elemento similar. También se puede sostener la lámina con un alicate de mordazas ajustables u "hombresolo", como se muestra en la **figura 8.21**, para evitar que ésta se mueva.

Efectúe primero todas las perforaciones del chasis utilizando la broca más pequeña que indique el diseño, luego vaya ampliando los demás orificios con las medidas de broca siguientes hasta que llegue al tamaño más grande. Estas perforaciones en forma gradual facilitan el trabajo y ayudan a redu-

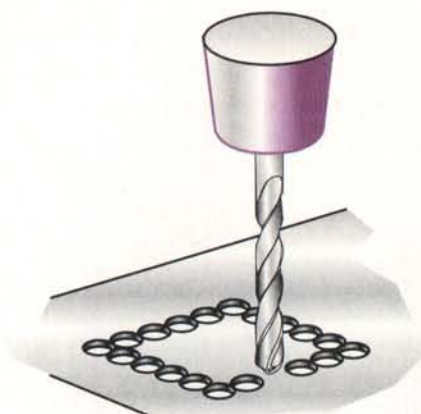


Figura 8.22. Para hacer una perforación rectangular se hacen varios agujeros con una broca pequeña siguiendo la forma de ella

cir el riesgo de accidentes, ya que el taladro requiere menos esfuerzo para hacer la perforación.

Por lo general, las brocas dejan en el lado posterior de la perforación una “rebaba” o pedazos de lámina que no quedan bien cortados. Esta rebaba se debe eliminar utilizando una broca más grande que la empleada en la perforación inicial. Esto puede hacerse con la mano, si se está trabajando con aluminio, o con una ligera pasada con el taladro, sin ampliar el orificio, cuando la lámina es de hierro.

Para perforaciones cuadradas o rectangulares, se utilizan troqueles cuando la producción es en serie. Para casos individuales, se deben hacer varias perforaciones circulares pequeñas siguiendo la forma del orificio hasta que se obtenga la forma aproximada retirando el pedazo de lámina, y luego, con una lima se pulen los bordes hasta obtener la forma deseada. En la figura 8.22, se puede apreciar este procedimiento.

Una vez terminadas las perforaciones debemos hacer el doblado de la lámina dependiendo del diseño inicial. La operación de doblado debe hacerse preferiblemente en una dobladora pequeña para lámina, figura 8.23. Si no se tiene acceso a este tipo de herramienta, se puede llevar el chasis y hacerlo doblar en un taller especializado, o recurrir a algún truco utilizando los medios que tengamos disponibles.

Para chasis simples en forma de “L”, se puede hacer con una prensa de banco teniendo cuidado de proteger la lámina con dos pedazos de madera delgada y doblando la lámina con otro pedazo de made-

ra para que la línea quede uniforme, figura 8.24. Para doblar los chasis en forma de “U”, se pueden utilizar pedazos de madera y prensas de carpintería, como se muestra en la figura 8.25. Estas operaciones se facilitan cuando la lámina es de aluminio y por ello es que recomendamos este material como el más adecuado para los prototipos.



Figura 8.23. Operación de doblado del chasis en una dobladora pequeña



Figura 8.24. También se puede doblar la lámina con una prensa de banco y una pieza de madera



Figura 8.25. Otro procedimiento de doblado con una prensa de mano y piezas de madera

5. Barnizado o pintura del chasis

Una vez que se ha perforado y doblado el chasis, se debe recubrir con alguna pintura para evitar su oxidación, si es de hierro, o para darle una mejor presentación ya sea de hierro o aluminio. Una forma fácil y práctica de hacerlo es utilizando pintura en aerosol, **figura 8.26**, y se recomiendan colores claros si vamos a emplear letreros indicativos, como se explicará más adelante, para marcar las diferentes partes del chasis, como los nombres de las señales, controles, etc.

6. Marcado de los letreros indicativos

Es muy importante para terminar el chasis del prototipo que se marquen los diferentes conectores y controles del mismo, así como poner el nombre del aparato y su referencia, si lo deseamos. Esto le dará un aspecto más profesional y facilitará su empleo por parte del usuario. Si usted observa los aparatos e instrumentos electrónicos que tiene a su alrededor notará que todos tienen su marca, nombre, modelo y un letrero para indicar la función de los conectores de entrada y salida, así como el nombre y valores para los controles.

Es posible hacer estas marcas de dos maneras. El primer método es con screen o serigrafía, utilizado también para fabricar circuitos. El segundo método es más fácil, rápido y económico, es el de las letras transferibles por contacto o presión, más conocidas como "Letraset", y de las cuales se consiguen una gran variedad en el mercado. Con ellas se forman los diferentes letreros o rótulos tal como se muestra en la **figura 8.27**.

Una vez que se han adherido las letras sobre la superficie pintada de la lámina, se cubre nuevamente con barniz o esmalte transparente para evitar que ellas se desprendan. En la **figura 8.28**, tenemos el aspecto del chasis terminado.

En el caso de los chasis de aluminio, éstos se pueden dejar sin pintar, marcando los letreros sobre su superficie y barnizando al final para

protegerlos. Así, una vez marcado y pintado quedará listo el aparato para su ensamblaje, el cual debe hacerse una vez que se hayan ensayado o probado las tarjetas o los diferentes circuitos.

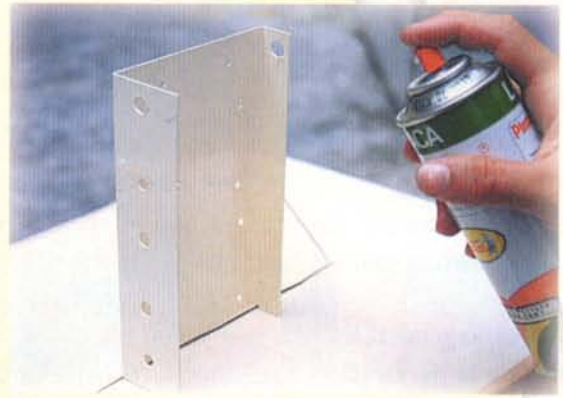


Figura 8.26. La pintura en aerosol es una buena solución para el acabado de los chasis prototipo

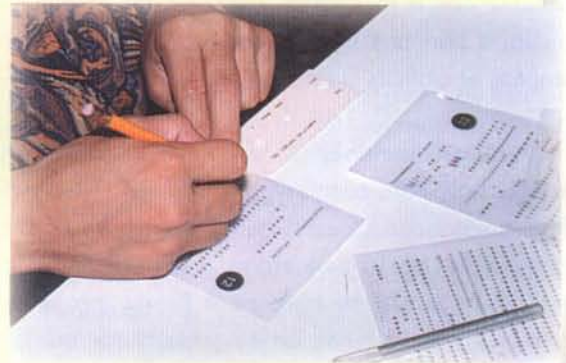


Figura 8.27. Procedimiento para marcar los rótulos que identifican los controles, los indicadores y los conectores de entrada y salida

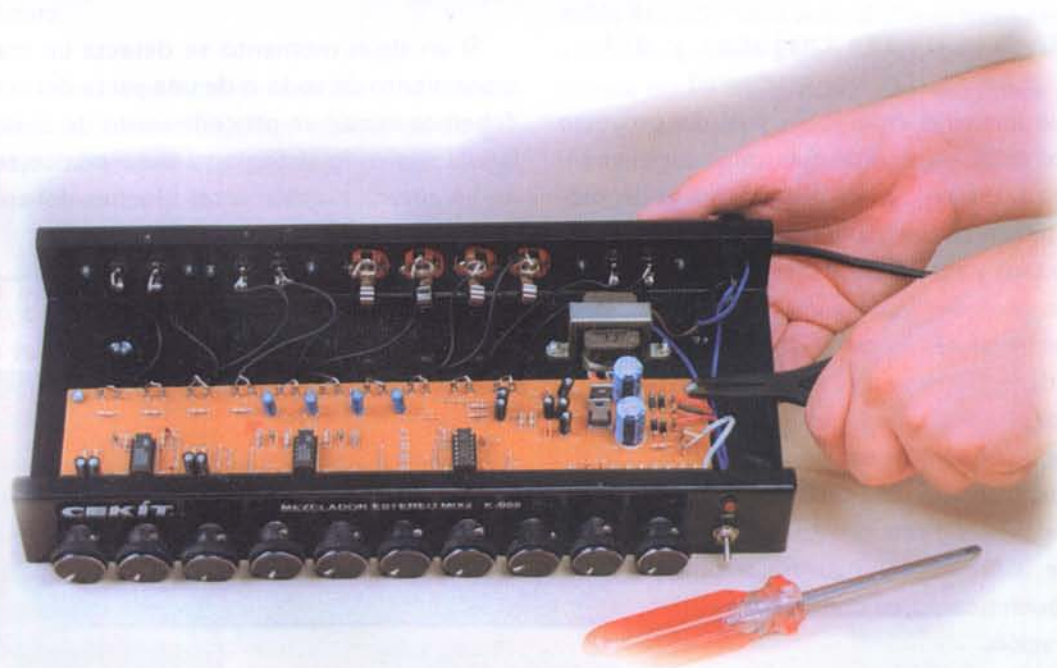


Figura 8.28. Aspecto final del chasis terminado. En este caso se ha pintado al horno y los rótulos se han hecho con el método de la serigrafía

Lección 9

Ensamblaje de aparatos electrónicos

Con esta práctica, terminamos la descripción de los pasos involucrados en la elaboración de proyectos electrónicos. Por ser el último, es quizás el paso más importante ya que de él dependen la buena presentación y la calidad del aparato construido.



Después de haber construido el circuito impreso y el chasis de un aparato electrónico, el siguiente paso es el ensamblaje y la interconexión de todos sus componentes y la realización de las pruebas necesarias para establecer su correcto funcionamiento. Este paso es fundamental, ya que si no se hace adecuadamente habremos perdido todo el trabajo anterior. A continuación, describiremos los pasos involucrados en esta última fase del desarrollo de proyectos.

Este ensamblaje consiste en instalar en el chasis y conectar a los circuitos impresos los cables de los accesorios externos, como conectores de entrada y salida, controles o potenciómetros, indicadores luminosos y sonoros, tales como diodos LED, parlantes y zumbadores piezoeléctricos, los cables de alimentación de CA, los portafusibles, etc. También se incluye el montaje de los transformadores, si el aparato los tiene. Otro aspecto muy importante es la interconexión correcta y estética entre las diferentes tarjetas de circuito impreso si el aparato tiene más de una. Efectuados cada uno de estos pasos, el aparato debe quedar terminado y funcionando correctamente.

Pruebas de las tarjetas y del circuito en general

Antes de iniciar el ensamblaje final del proyecto debemos estar seguros de que todos sus elementos están trabajando bien, especialmente los módulos completos montados sobre circuitos impresos y sus componentes, ya que si se presenta una falla después del ensamblaje debemos desarmar el aparato perdiendo tiempo y esfuerzo. Si hay un transformador u otros componentes como un parlante, por ejemplo, es muy recomendable probar cada uno para determinar si está trabajando bien. Estas pruebas deben hacerse de la forma más rigurosa posible y por un buen tiempo, en condiciones reales de operación.

Este procedimiento se debe cumplir, tanto para el ensamblaje de un prototipo o

como muestra para la producción en serie de aparatos electrónicos.

Para hacer las pruebas, haga el montaje provisional de los elementos externos al circuito impreso y coloque todo el conjunto sobre la mesa de trabajo. **Figura 9.1.** Observe muy bien que no haya elementos metálicos en ella, tales como pedazos de cable, terminales, tornillos, etc., que puedan hacer cortocircuitos en el lado de las soldaduras del circuito impreso. Una buena costumbre que se debe adquirir, es limpiar la mesa antes de este procedimiento.

En lo posible, tenga a la mano los instrumentos y otros elementos necesarios para hacer las mediciones o pruebas correspondientes, o para inyectar alguna señal con la que trabaje el circuito. En cuanto a los instrumentos, los más comunes son los multímetros análogos o digitales, un osciloscopio, un generador de señales, y, en cuanto a los elementos auxiliares, debemos tener un parlante con su baffle o pantalla, si la prueba es de un amplificador de audio; o una resistencia de carga, si el proyecto es una fuente de poder, etc.

Si en algún momento se detecta un mal funcionamiento de todo o de una parte del circuito, debemos iniciar un procedimiento de análisis de la falla siguiendo el diagrama esquemático, teniendo en cuenta los diferentes bloques del aparato,



Figura 9.1. Prueba preliminar antes de montar el aparato en el chasis

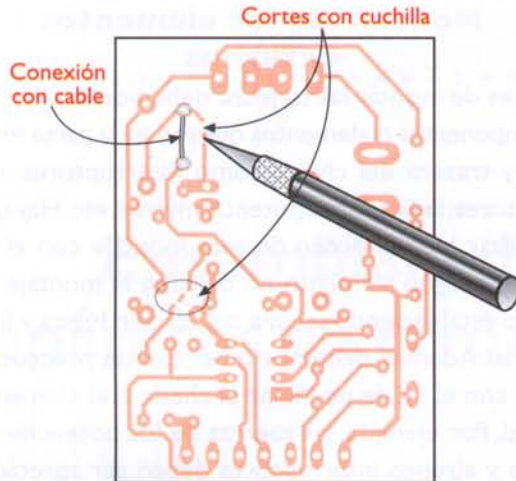


Figura 9.2. Reparación del prototipo de un circuito impreso

probando los más conocidos y descartando uno por uno hasta encontrar el problema, ya sea por un componente mal instalado, una mala soldadura, una conexión externa equivocada, un error en el circuito externo, etc. Si hay una señal que debe llevar un flujo determinado pasando de una etapa a la otra, se le debe hacer un seguimiento hasta encontrar en donde está bloqueada. Se supone que cuando tenemos el aparato montado en un circuito impreso, ya se han hecho pruebas en un *protoboard*.

En una próxima lección de este curso trataremos con amplitud el tema de la reparación de aparatos electrónicos en donde ampliaremos los aspectos enunciados anteriormente.

En el caso de que se presente un error en el diseño del circuito impreso y que se conectaron una o varias líneas de forma incorrecta, se puede reparar provisionalmente mientras hacemos un nuevo diseño. Para hacerlo, podemos cortar con una navaja o un bisturí las líneas de cobre defectuosas y hacer nuevas conexiones utilizando cables muy delgados. En la **figura 9.2** podemos observar una forma de hacer esta reparación. Cuando se presenta este problema, lo más indicado es rediseñar y fabricar inmediatamente el circuito impreso y volver a ensamblar el prototipo utilizando los materiales que se puedan retirar fácilmente de la tarjeta anterior.

Otros componentes para el montaje final

Una vez que se haya probado la tarjeta debemos tener listos los demás materiales para el ensamblaje final. Tal es el caso de los elementos externos que van montados en el chasis, como los conectores, interruptores, indicadores, el transformador, si lo hay, y los cables que los interconectan con el circuito impreso o con entradas y salidas de señales.

Los cables deben ser los apropiados en cuanto a su tipo, calibre y color. Una de las consideraciones más importantes es el calibre o espesor del cable dependiendo de la cantidad de corriente en amperios que circula por él, especialmente en circuitos o trayectorias que manejan cargas de potencia mayores a un amperio (1 A). En la Tabla 9.1 tenemos los calibres AWG más adecuados para diferentes valores de corriente.

Los cables más utilizados en electrónica son los de cobre con aislamiento de PVC, disponibles en diferentes configuraciones. Para conexiones entre los elementos externos y las tarjetas, se utiliza el cable llamado "tipo vehículo" que tiene en su interior un conjunto de alambres delgados lo que le brinda buena flexibilidad, éste se fabrica en diferentes calibres y colores.

En electrónica, se utiliza desde el calibre N° 24, que es delgado, hasta el N° 12 ó 14 que es

Alambre de cobre	
Calibre AWG	Amperios
12	6,5
14	4,1
16	2,6
18	1,6
20	1,0
22	640mA
24	400mA

Tabla 9.1. Capacidad de corriente de diferentes cables

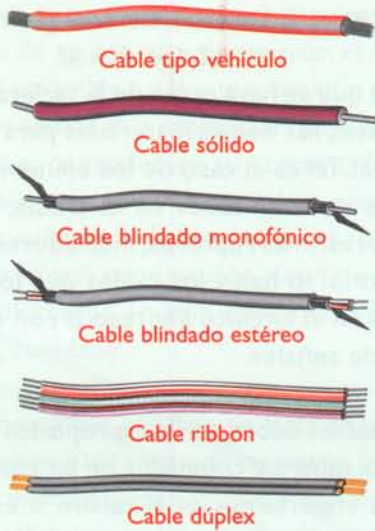


Figura 9.3. Algunos tipos de cables utilizados en electrónica

más grueso. Los diferentes colores permiten diferenciar los circuitos o tipos de señal que pasan por ellos, facilitando el ensamblaje y la reparación de los aparatos. Un tipo común de éste viene con dos alambres unidos entre sí y se llama cable dúplex o doble.

También se utiliza el cable cuyo interior contiene un solo alambre sólido, que permite, si es necesario, dar una forma fija a la trayectoria de la conexión. Una forma económica de obtener este tipo de cable, de calibre delgado, es desarmando cable telefónico de varios "pares", sobrante de instalaciones, y utilizando sus cables internos que vienen en una buena variedad de colores. También es muy popular el cable llamado "ribbon" o cable plano, con varios conductores unidos entre sí y que facilitan la unión de varias líneas simultáneamente a través de conectores o de conexiones en terminales de la tarjeta.

Por último, mencionaremos el cable blindado o apantallado utilizado para la fabricación de conexiones que involucran señales de audio de bajo nivel provenientes de micrófonos y otras fuentes, las cuales, deben ser aisladas de la influencia de otras señales más fuertes que pueden inducir interferencia en el aparato. En la figura 9.3 tenemos el aspecto de los diferentes tipos de cables mencionados.

Montaje de los elementos externos

Antes de montar las tarjetas, debemos instalar los componentes o elementos que van en la parte frontal y trasera del chasis, como interruptores, conectores, indicadores, potenciómetros, etc. Hay que analizar bien el orden de este montaje con el fin de que algún elemento no dificulte el montaje de otro estableciendo así una colocación lógica y funcional. Además, debemos tener ciertas precauciones con el fin de no dañar el chasis o el elemento en sí. Por ejemplo, las tuercas de los potenciómetros y algunos interruptores deben ser apretadas con una llave apropiada o, en último caso, con un alicate, ya que si utilizamos una pinza de puntas planas, como muchas veces se hace, ésta no ajusta bien en la tuerca y se suelta bruscamente rayando el chasis.

Además, si este último se ha barnizado, para proteger los rótulos, debemos evitar que la tuerca dañe la superficie instalando una arandela entre ella y el chasis. En la figura 9.4 se muestra en detalle este procedimiento.

La mayoría de los potenciómetros y otros componentes, como los interruptores rotatorios, tienen una pequeña pestaña que se utiliza para evitar que éstos se giren al operarlos con la respectiva perilla. Para un óptimo montaje, se debe perforar un agujero pequeño para alojar esta pestaña, como se puede ver en la figura 9.4

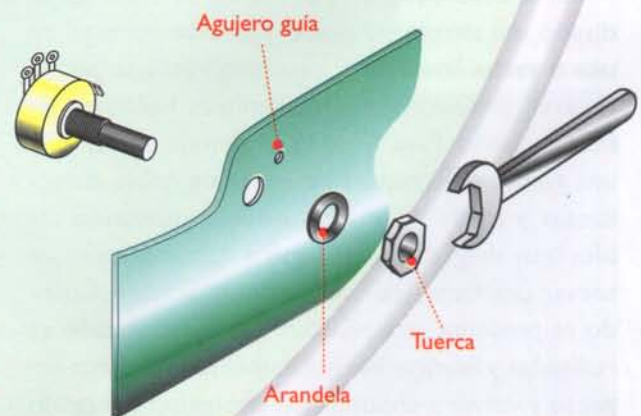


Figura 9.4. Montaje de potenciómetros u otros elementos similares.

Uno de los criterios más importantes para dar un buen aspecto a un prototipo es utilizar elementos externos con una buena presentación y que estén de acuerdo con el trabajo que van a realizar. Tal es el caso de las perillas, las cuales deben tener una forma y tamaño adecuados según su función. En la **figura 9.5** se muestran varios modelos de las que se utilizan en diferentes aparatos electrónicos. Igualmente ocurre con los indicadores tales como diodos LED, *displays*, instrumentos (voltímetros y similares), parlantes, interruptores, etc., los cuales se deben seleccionar teniendo en cuenta dos aspectos: sus características eléctricas, las cuales deben cumplir con los requerimientos del aparato (corriente, voltaje, configuración, etc.) y su aspecto físico (forma, tamaño, materiales, etc.) el cual debe ser acorde con el diseño del aparato en el cual se están instalando.

Por ejemplo, si estamos fabricando una fuente de alimentación variable que incluye un voltímetro análogo en su panel frontal, los cuales vienen en diferentes formas y tamaños, éste debe tener el tamaño adecuado según las dimensiones de la fuente, ni muy grande, ni muy pequeño, **figura 9.6**. Otro aspecto fundamental es el tipo de tornillos que debemos emplear para asegurar los componentes externos que así lo requieran; preferiblemente debemos utilizar tornillos pequeños con cabeza tipo Philips o estriada, con las dimensiones apropiadas (diámetro y longitud), **figura 9.7**. En lo posible, se debe evitar que queden tornillos en el panel frontal o delantero ya que esto no le da buen aspecto al aparato en la mayoría de los casos.

Montaje de las tarjetas en el chasis

Existen varios sistemas para hacerlo. Este procedimiento exige ciertos requisitos mínimos para que los diferentes circuitos del aparato queden bien asegurados. El método más fácil y utilizado es por medio de tornillos y separadores de plástico, tal como se muestra en la **figura 9.8**. Los separadores se pueden obtener cortando trozos pequeños, de unos 5 a 8 mm de longitud, de tubería o manguera delga-



Figura 9.5. Diferentes modelos de perillas



Figura 9.6. Tamaño adecuado para el voltímetro de una fuente variable de CC, de acuerdo al tamaño del panel delantero



Figura 9.7. Tornillos tipo Philips o de cabeza estriada

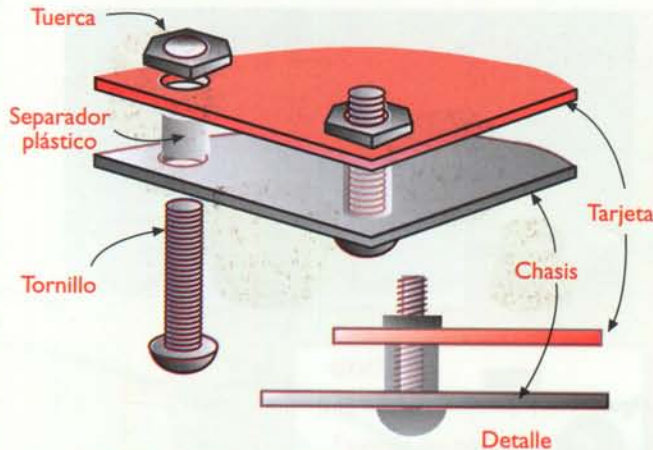


Figura 9.8. Montaje de las tarjetas de circuito impreso en el chasis

da de plástico, o de la cubierta de alambre eléctrico grueso. El diámetro interior debe ser tal que permita el paso de tornillos de 1/8" ó de 3 mm, que son los más utilizados para este propósito.

Lo ideal es utilizar separadores de plástico o baquelita rígidos para que los circuitos queden debidamente asegurados al poder apretar los tornillos con una buena presión, ya que los separadores flexibles se van deformando a medida que se hace el ajuste final. También se utilizan separadores metálicos hexagonales o cilíndricos, **figura 9.9**, para lo cual debemos tener cuidado de que no hagan contacto con alguna parte del circuito impreso.

Los tornillos se aseguran desde la parte externa del chasis hacia la parte interna y la tuerca se

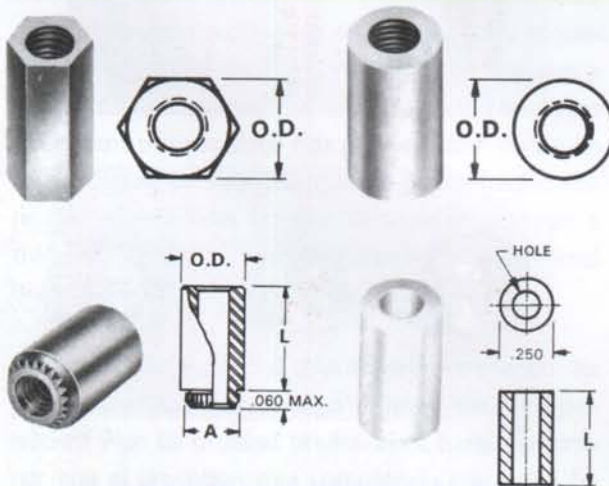


Figura 9.9. Separadores metálicos cilíndricos

coloca encima del circuito impreso. Cuando se diseña este último, debe tenerse la precaución de dejar el espacio apropiado alrededor del tornillo, ya que muchas veces esto no se tiene en cuenta y éstos, o las tuercas, entran en contacto con los trazos del circuito impreso ocasionando un mal funcionamiento, o también hay componentes cercanos que no permiten instalarlas.

Hay otro sistema un poco más sofisticado que utiliza postes o soportes de nylon fabricados especialmente para este propósito; éstos se encuentran comúnmente en las computadoras y vienen en varias presentaciones: con una base adhesiva, con dos soportes, con tuerca en un extremo, con rosca interna para tornillo, etc. En la **figura 9.10** se puede apreciar este tipo de elementos y su utilización en el montaje de las tarjetas. Una ventaja adicional de este sistema es que permite un rápido desmontaje de ellas lo que se logra presionando unas pequeñas pestañas que tienen en su parte superior.

Cableado del aparato

Una vez que estén montados todos los elementos en el chasis, debemos proceder a su interconexión. Durante este procedimiento debemos seguir atentamente el diagrama esquemático y el diagrama de conexiones, si lo tenemos. Como ya lo mencionamos, debemos utilizar los cables apropiados según la conexión. Por ejemplo, para el cable de alimentación o entrada se utiliza generalmente cable tipo "dúplex" o doble, de color negro, con calibre desde 22 hasta 18, en la mayoría de los casos. Si el aparato maneja buena potencia en la entrada, se debe utilizar cable 16 ó 14.

Si la fuente de poder está separada de los demás circuitos, se utiliza para su conexión cable flexible de color rojo para el terminal positivo, y negro para el terminal negativo, con el calibre adecuado de acuerdo a la máxima demanda de corriente que circula por ellos. Para conexiones múltiples, se recomienda el cable plano o "ribbon", preferiblemente de varios colores con el fin de identificar fácilmente los diferentes puntos de la conexión y, en lo posible,

con conectores en sus extremos; esto permite un fácil desarme del aparato en caso de reparación.

Hay dos aspectos muy importantes en el proceso del cableado que se deben tener siempre en cuenta. El primero de ellos es la hechura de buenas soldaduras ya que ésta es una de las principales causas del mal funcionamiento inicial de los aparatos electrónicos. Como en la interconexión se sueldan cables un poco gruesos a terminales metálicos, **figura 9.11**, aquí se deben hacer muy buenas soldaduras, con una mayor temperatura, ya que este tipo de terminales presenta alguna dificultad en este proceso. La mejor forma de superarla es limpiar muy bien tanto el terminal como el cable, raspando con una cuchilla, si es posible, y aplicando el cautín un tiempo ligeramente mayor que el acostumbrado para las soldaduras normales en un circuito impreso.

Una soldadura deficiente en un conector o en un terminal de alguno de los elementos externos (indicadores, interruptores, instrumentos de medida, etc.) puede ser la principal causa para un funcionamiento intermitente o defectuoso del aparato, lo que es muy difícil de detectar y nos hace perder mucho tiempo al tratar de solucionar el problema.

El otro aspecto, igual de importante, es el que tiene que ver con la estética o distribución de los cables de interconexión dentro del aparato. Como lo mencionamos oportunamente cuando hablamos del diseño del circuito impreso, éste debe hacerse de acuerdo a la disposición de los elementos externos del aparato que van montados en el chasis, lo que establece un prediseño del mismo.

Si esto se hizo así, la distribución y recorrido interno de los cables no presentarán ningún problema y el ensamblaje se hará siguiendo una ruta natural, teniendo en cuenta el dejar un poco de holgura en la longitud de los cables para darles una buena forma sin que esto sea exagerado y queden sobrantes que dañen la estética del aparato. Las conexiones tampoco se deben dejar demasiado cortas ya que, si están tirantes, hay

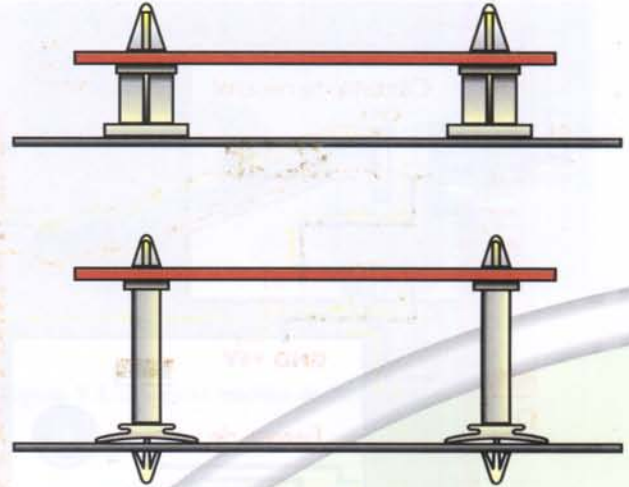
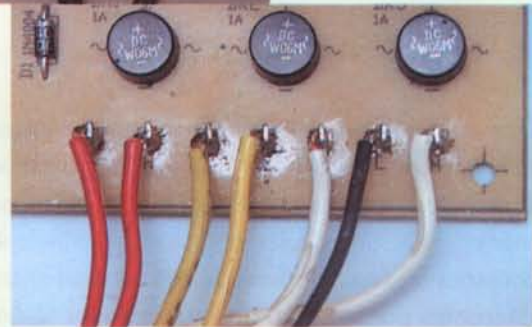


Figura 9.10. Separadores de nylon sin tornillos



Figura 9.11. Soldadura de cables en terminales metálicos de conexión



muchas posibilidades de que se desprendan de sus puntos de conexión. La longitud adecuada permite sujetar conjuntos de cables que siguen el mismo camino o que pertenecen a un mismo circuito, mejorando la presentación interna del aparato, la cual también se debe procurar. En la **figura 9.12** tenemos un ejemplo de una interconexión ordenada de los diferentes elementos de un aparato electrónico sencillo.

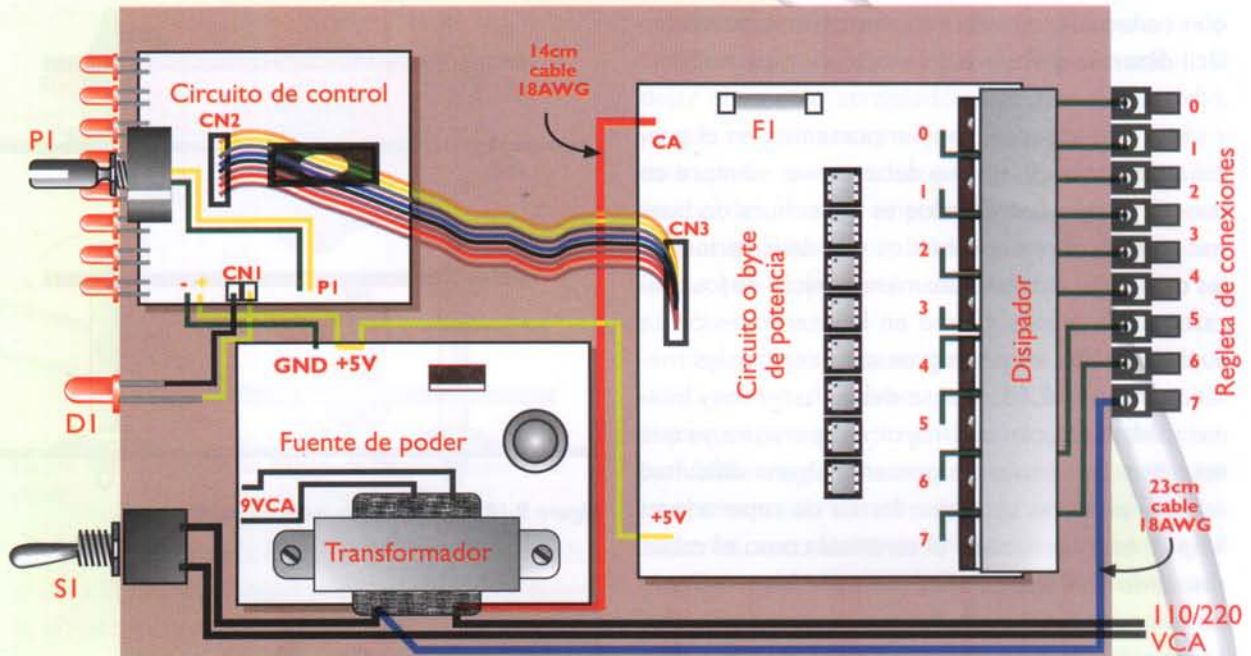


Figura 9.12. Interconexión ordenada de los diferentes circuitos dentro de un aparato

Estos aspectos parecen triviales, pero en la mayoría de los casos en los cuales hemos visto aparatos ensamblados por aficionados principiantes o por estudiantes, presentan un aspecto muy deficiente en este sentido, lo que se ve muy mal y dificulta las operaciones de prueba, reparación y mantenimiento de los aparatos, aunque estos funcionen correctamente.

Revisión final

Una vez terminada la interconexión, y antes de energizar el circuito, debemos revisar visualmente todo el aparato repasando con el diagrama esquemático cada una de las conexiones principales y tomando algunas medidas de continuidad entre los diferentes puntos. Esto nos puede evitar daños en los circuitos en caso de que se hayan hecho conexiones erróneas, las que se pueden corregir a tiempo. Cuando estemos seguros de que todo está bien, procedemos a la prueba final.

Una vez conectado el aparato, debemos repetir las pruebas de funcionamiento tal como se hizo en el *protoboard* y en las pruebas preliminares, hasta determinar que el prototipo está cumpliendo con todas las funciones para las cuales fue diseñado y construido.

Correcciones

Si hay fallas, y como de ello se trata, se debe hacer un nuevo prototipo corrigiéndolas hasta que tengamos un modelo funcionando correctamente. Esto es muy importante sobre todo si el propósito final es llevar el producto a una fabricación en serie.

Documentación

Una vez terminado el prototipo, se debe agrupar y guardar una documentación organizada que debe incluir el plano o diagrama esquemático, tanto en borrador como en limpio, inclusive, con anotaciones sobre las correcciones y cambios hechos durante el proceso; dibujos finales del circuito impreso, lista completa y detallada de los materiales, plano del chasis, fotografías, etc. Muchas veces este último procedimiento no se hace y perdemos una gran cantidad de tiempo cuando debemos repetir la fabricación del mismo aparato y no tenemos disponible la información para hacerlo, ésta se puede requerir unos meses o quizás años más tarde. Esto es mucho más importante cuando se planea hacer una producción en serie de un determinado proyecto.

Cómo organizar el área de trabajo

Todo aficionado o practicante de la electrónica sueña con tener en su propia casa un taller o laboratorio, en el cual pueda dar rienda suelta a todas sus inquietudes y deseos de aventura con la electrónica, o para hacer trabajos de reparación, o para iniciar su propia empresa de fabricación de aparatos electrónicos. A continuación daremos algunas recomendaciones para organizar un taller adecuado, según nuestro punto de vista y experiencia.

La comodidad que se obtiene al trabajar en un área apropiada, especialmente para las prácticas, permite lograr una mayor productividad, mejor aprovechamiento del tiempo, y sobre todo, se trabaja en forma más agradable y segura, **figura 9.13**. Además, con un sitio especial para el desarrollo de estas actividades se puede accionar sin causar molestias a las otras personas que conviven en el mismo sitio.

Esto se presenta cuando practicamos con la electrónica en la mesa del comedor o en los escritorios de nuestro hogar, lo que origina conflictos y a la vez es incómodo ya que en la mayoría de los casos un proyecto o una reparación no se terminan en una sola sesión, y, si se trabaja en un sitio

como los mencionados, hay que retirar todos los componentes, herramientas, instrumentos, manuales, el mismo proyecto, etc. y volverlos a traer cuando se reinicie el trabajo, lo cual dificulta esta labor.

Qué se requiere

Si se revisa la lista de los elementos básicos que se requieren para trabajar en electrónica, llegamos a la conclusión de que no es un número muy grande. Veámos: una mesa o banco de trabajo donde realizar las labores, el instrumento para medidas en electrónica por excelencia que es el multímetro (análogo o digital), aunque, si el presupuesto lo permite, sería muy bueno contar con un osciloscopio y un generador de señales. También un cautín para soldar, al igual que las herramientas manuales, como una pinza, un cortafrío y un destornillador, entre otros, tal como lo vimos en las primeras lecciones de este curso.

En el momento de planear y adecuar el sitio de trabajo también es necesario pensar en donde se van a guardar los componentes electrónicos, como resistencias, transistores, condensadores, etc., al igual que toda una serie de accesorios que se van acumulando a través del tiempo y de la hechura de experimentos y proyectos, como tornillos, tuercas, conectores, etc.. Por último y como elemento

indispensable, se requiere de una buena instalación eléctrica con fácil acceso para conectar el cautín, la fuente de alimentación, algún aparato que esté bajo prueba, un osciloscopio, etc.

Antes de instalar el taller se debe escoger el sitio más adecuado de la casa, ya sea en el garaje, en el estudio, en la sala, etc. Para esto se deben tener en cuenta algunos aspectos como la buena iluminación, que juega un factor importante en casi cualquier



Figura 9.13. Sitio de trabajo organizado para electrónica

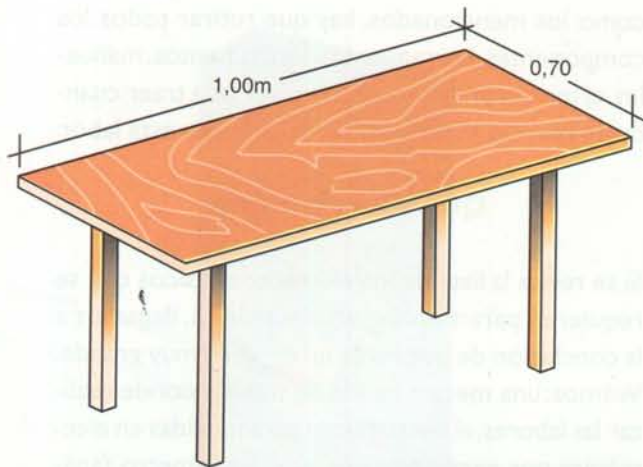


Figura 9.14. Mesa de trabajo sencilla para electrónica
actividad humana y la seguridad, ante todo cuando se tienen niños en la casa. Por último, la ventilación, aspecto fundamental cuando se trabaja con soldadura de estaño ya que se liberan algunas sustancias que podrían resultar tóxicas si se aspiran en grandes cantidades. Igual sucede cuando se manipulan los elementos químicos para fabricar circuitos impresos, como el percloruro férrico.

Otros aspectos, un poco menos determinantes, pero que se deben contemplar son: si se escoge un sitio dentro de la casa y este posee una

alfombra, debemos colocar en el piso algún tapete o material que la proteja para que no se quemé en caso de que se caiga el caudín al piso; ya que si el sitio destinado para trabajar es el garaje, por ejemplo, se debe tener especial cuidado de revisar que no exista humedad en paredes ni pisos, esto puede ser peligroso cuando se está trabajando con aparatos en los cuales se manejen altos niveles de voltaje (por ejemplo 110 ó 220VCA de la red pública).

El banco de trabajo

Para empezar, se debe buscar el banco de trabajo más adecuado. Si se dispone de una mesa o escritorio de madera es suficiente, pero si no, se debe construir uno que cumpla con unas condiciones mínimas en cuanto a dimensiones se refiere. Una mesa que tenga 1 metro de ancho por 70 cm de profundidad puede ser suficiente, aunque si el presupuesto y el espacio disponible lo permiten, se puede hacer más grande.

Debe tenerse especial cuidado con la altura de la misma ya que normalmente se trabaja sentado, y, por lo tanto, se debe garantizar que la posición



Figura 9.15. Banco de trabajo CEKIT con funciones propias para electrónica

de la persona sea lo más cómoda posible para evitar problemas en la columna vertebral. En la **figura 9.14** se muestra el plano de una mesa de trabajo muy sencilla.

Si se quiere tener un banco de trabajo con todas los servicios y prestaciones posibles, se debe agregar un cajón o gaveta para guardar las herramientas de mano como destornilladores, pinzas, pelacables, etc.

También se debe considerar la incorporación de una superficie plana elevada unos cuantos centímetros desde la parte superior de la mesa con el fin de colocar allí los instrumentos de medida y obtener así una lectura más cómoda y rápida. Este espacio dedicado a los instrumentos, puede construirse como si se tratara de un pequeño banco de trabajo con una altura de 20 a 30 cm y un ancho igual al de la mesa.

Adicionalmente, para acomodar en una forma ordenada los cables, caimanes y puntas de prueba de los diferentes instrumentos, se pueden utilizar ganchos o algún elemento similar que se pueda asegurar en uno de los lados del banco de trabajo o en la pared. Otra opción, no menos interesante, es buscar en el mercado un banco de trabajo que cumpla con los requisitos exigidos para las labores de electrónica. Entre ellos existen diferentes modelos que deben ser escogidos de acuerdo al espacio disponible y a los servicios especiales que se requieran. CEKIT S.A. tiene disponibles varios modelos de bancos de trabajo muy apropiados para este propósito, como el que se muestra en la **figura 9.15**.

La instalación eléctrica

La instalación eléctrica es parte muy importante del banco de trabajo. Para tenerla hay varias opciones: la primera es utilizar los llamados tomas múltiples o multitomas; éstos se consiguen en el mercado con diferente número de salidas y con diferentes formas físicas, **figura 9.16**. Generalmente cuentan con un interruptor general, y, en los modelos más especializados, se incluye protección



Figura 9.16. Tomacorrientes múltiples o multitomas

contra cortocircuitos por medio de un interruptor tipo *breaker*. La ventaja que presenta el uso de estos aparatos es que son muy simples de utilizar y no se requiere hacer complicadas instalaciones.

La segunda opción es hacer la instalación eléctrica completamente. Para ello se deben instalar los tomacorrientes en el banco de trabajo, de tal forma que sea fácil acceder a ellos para conectar los aparatos o instrumentos que vamos a utilizar; es apropiado instalar en serie con cada tomacorriente un interruptor que permita energizarlo o desconectarlo con el fin de tener control sobre los aparatos conectados, y, además, agregarle una lámpara piloto para poder saber si tiene o no energía, (Ver figura 9.15).

El cableado debe hacerse lo más oculto posible, primero por seguridad y segundo por estética. Además, no se debe olvidar que la instalación del polo a tierra es muy importante; si no se dispone de ella se debe hacer de la mejor forma posible.

Las gavetas u organizadores para componentes

Para no causar desorden en el área de trabajo y de paso asegurar que las cosas siempre van a estar en un sitio donde se puedan encontrar fácilmente, se debe destinar algún compartimiento especial para almacenar los componentes electrónicos que nos vayan quedando de



Figura 9.17. Gabinetes o gaveteros para la clasificación de componentes. Cada cajón se debe marcar en la parte externa con el nombre de los componentes o grupos de componentes que se almacenan en ellos

los diferentes proyectos, o los que a veces tenemos disponibles. Para ello se pueden utilizar los gabinetes o armarios especiales que se consiguen en las ferreterías y almacenes de artículos para el hogar. **Figura 9.17.** Cada casilla se debe marcar con una etiqueta indicando que materiales contiene, por ejemplo, resistencias, condensadores, diodos, transistores, terminales, conectores, tornillos, etc.

En caso de no disponer de ellas, se puede recurrir al uso de bolsas plásticas de las que poseen cierre hermético, las cuales se deben marcar apropiadamente. El plástico de estos artículos es de un buen calibre, ya que están hechas para trabajo pesado.

Otra alternativa económica para clasificar y almacenar los componentes, es utilizar frascos de vidrio del tamaño apropiado, de los que vienen con algunos alimentos, como conservas,

dulces, etc. y que tengan una tapa roscada para poder tapanlos. Éstos se deben marcar con etiquetas en forma clara y visible para que podamos identificar fácilmente los componentes que contienen.

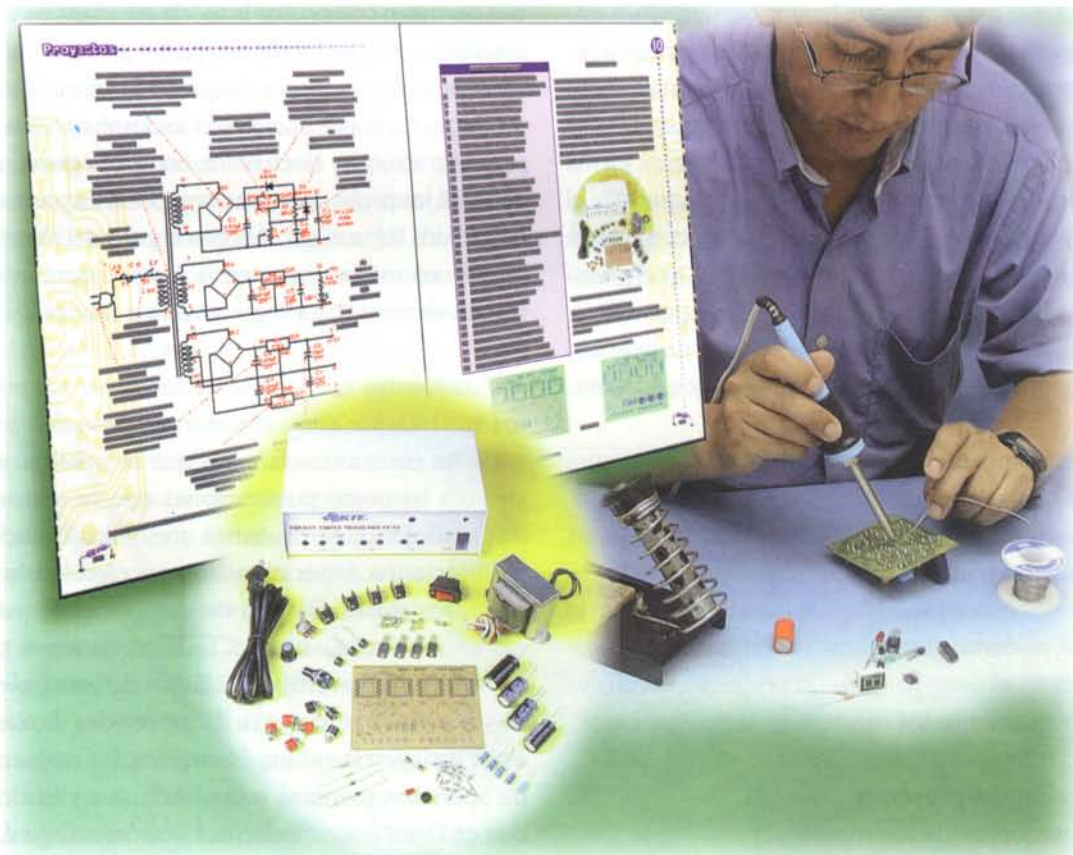
Si el lugar donde se instala el sitio de trabajo está ubicado en un área muy transitada o en un sitio donde no es muy bien visto todo el desorden propio de los talleres, se puede utilizar un biombo o una cortina para ocultar el banco de trabajo y los demás elementos que se están utilizando.

La forma en que se organicen todos los elementos en el cuarto o área de trabajo depende de cada caso en particular; la colocación de la mesa, las gavetas, los estantes y cualquier otro elemento debe hacerse de la forma más adecuada, buscando que las condiciones de iluminación, ventilación y comodidad sean las más favorables

Lección 10

Planeación y desarrollo de proyectos

Cuando se emprende el desarrollo de un proyecto electrónico se deben tener en cuenta varios factores; por ejemplo, cuál es su propósito o finalidad, el diseño apropiado, qué herramientas y componentes se requieren para su elaboración, la disponibilidad de los mismos, cuál va a ser su empaque o presentación final, etc. Todos estos aspectos se deben tener en cuenta antes de empezar, ya que de su buena planeación depende en gran parte el éxito o el fracaso del proyecto.



Aunque sobre este tema ya hemos visto varias lecciones, en esta ampliaremos algunos puntos importantes que se deben tener siempre en cuenta para la realización exitosa de proyectos electrónicos, los cuales, no solo pueden ser utilizados como material de estudio y entretenimiento sino para la fabricación en serie con fines comerciales.

Llevar a feliz término un proyecto que era sólo una idea o un bosquejo sobre el papel es una de las actividades más gratificantes para los practicantes de la electrónica. Pero, para lograrlo, es necesario que se cumplan ciertas condiciones las cuales se deben establecer previamente, como son la facilidad para conseguir los componentes, tener los instrumentos necesarios tanto para la construcción del proyecto como para su prueba y calibración; además, según su complejidad, se deben tener los conocimientos necesarios y el mayor volumen de documentación posible.

Consideraciones iniciales

Como hemos visto en las lecciones de práctica y en los diferentes proyectos que hemos presentado, la elaboración de un proyecto electrónico es una tarea relativamente simple. Lo único que se requiere es tener algunos conocimientos básicos en el área, como son la identificación de los componentes, tanto en su forma física como en su representación en un diagrama, y el conocimiento de las unidades de medida con que se trabaja; también se debe conocer bien la interpretación de planos o diagramas electrónicos y, por último, tener algunas habilidades manuales para realizar correctamente los procesos de ensamblaje y soldadura.

Otros aspectos que se deben tener en cuenta son los que se mencionaron en lecciones anteriores y tienen que ver con el sitio de trabajo y las herramientas e instrumentos necesarios para llevar a cabo la tarea propuesta. Teniendo en cuenta lo anterior, podemos identificar todos los pasos involucrados en el desarrollo de un proyecto, los cuales son prácticamente los mismos en todos los casos:

- Elección del proyecto
- Consecución de los materiales

- Elaboración del prototipo
- Prueba del circuito
- Diseño y elaboración del circuito impreso
- Ensamblaje del circuito
- Diseño y elaboración del chasis
- Ensamblaje final y prueba
- Corrección de errores, si los hubiere

Elección del proyecto

El proyecto que se elija debe satisfacer alguna necesidad específica, como comprobar alguna teoría estudiada en una clase o en un curso como éste, solucionar algún problema en el hogar o en la oficina, servir como instrumento de trabajo en el taller o laboratorio por solicitud de alguien que lo necesita, etc. Dado que existen infinidad de proyectos diferentes que pueden ser elaborados por los practicantes, lo más lógico sería empezar por los más sencillos, y, a medida que vamos adquiriendo conocimientos y destrezas, podemos ir aumentando el grado de dificultad de los mismos.

Los proyectos ideales para empezar son aquellos que permiten comprobar la teoría estudiada en los cursos, tales como las fuentes de poder, pequeños amplificadores, temporizadores, juegos de luces, etc. Después de éstos, una buena opción son los instrumentos útiles para el trabajo en electrónica, como los generadores de señal, los probadores de componentes, probadores de estados lógicos, etc. Así, con el paso del tiempo y al lograr una mayor experiencia, los proyectos van subiendo de nivel hasta llegar a los más avanzados.

Las fuentes o sitios para seleccionar los proyectos son muy variados; anteriormente se debía recurrir a las revistas extranjeras que se publican en inglés o a las pocas publicaciones que se conseguían en español. Hoy en día existe una buena cantidad de publicaciones especializadas que circulan en casi todos los países. Dentro de ese grupo de publicaciones se destacan las de CEKIT, las cuales se caracterizan por tener proyectos fáciles de construir guiados con la metodología de **aprender haciendo**; éstas incluyen la revista *Electrónica & Computadores* de aparición mensual, y los fascículos y enciclopedias de *Electrónica Moderna*, *Electrónica Digital*, *Elec-*



Figura 10.1.

trónica Digital Moderna, Microcontroladores, Microprocesadores, etc., **figura 10.1**

Las revistas son, sin lugar a dudas, una de las mejores fuentes para encontrar proyectos electrónicos. La mejor forma de acceder a ellas es a través de suscripciones, lo cual garantiza que se reciban mensualmente en nuestro hogar u oficina. Si no tenemos acceso a ellas podemos visitar las bibliotecas públicas de las ciudades o de las universidades técnicas en donde pueden tener un buen número de ellas.

Ahora, gracias a la red mundial de computadoras o internet, tenemos disponibles miles de proyectos de todo tipo. Con una búsqueda organizada podemos encontrar muchas páginas web que nos entregan los diagramas, y, en algunas de ellas, los detalles de construcción, **figura 10.2**. En una próxima lección nos ocuparemos en detalle de este tema el cual consideramos de vital importancia para los estudiantes de electrónica actualizados.

En resumen, seleccione proyectos fáciles de armar, que estén de acuerdo a sus conocimientos, que se puedan realizar sin mayores dificultades, y, lo más importante, no se desanime cuando alguno de ellos no funcione, esto es muy normal siendo además la mejor manera de aprender y poner a prueba nuestras capacidades. Cuando seleccione un proyecto esté seguro que tiene toda la información necesaria para construirlo, especialmente el diagrama esquemático completo con todos los datos sobre los

componentes, tales como las referencias en el caso de los semiconductores (diodos, transistores, etc.) y los valores exactos de los otros componentes, como las resistencias, los condensadores, las bobinas, etc.

Consecución de los componentes

Una de las tareas fundamentales y que se debe desarrollar antes que cualquier otra cosa es la consecución de los materiales necesarios para armar el proyecto. Para esta labor se requiere que el experimentador adquiera una cierta habilidad, lo cual se logra a través del tiempo. Para encontrar los materiales que se requieren existen varias posibilidades.

Si seguimos un orden lógico, el primer sitio para buscar es en nuestro propio taller o laboratorio, ya que, normalmente, después de realizar algún proyecto nos sobran algunos elementos. Como lo mencionamos en la lección anterior, es muy conveniente ir organizando estos componentes por tipos, valores, etc. para que su localización sea rápida. No podemos tener un cajón lleno de resistencias, condensadores, diodos, transistores, circuitos integrados, etc. todos juntos, ya que el tiempo para la búsqueda sería muy largo y probablemente muy poco efectiva.

El siguiente sitio para buscar es a través de los proveedores locales. Lo más importante es encontrar aquellos que puedan surtir los componentes necesarios a un bajo costo, en forma rápida, y que, además, garanticen buena calidad. Una de las primeras actividades que debe desarrollar todo estudiante o aficionado a la elec-

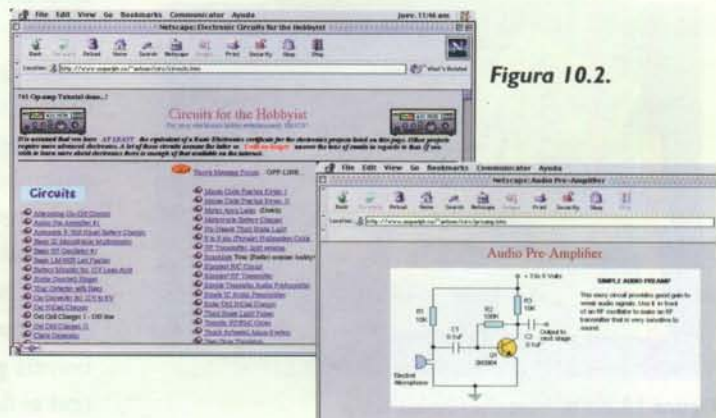


Figura 10.2.

trónica es familiarizarse con estos proveedores pues seguramente los visitará a menudo.

Si en las tiendas locales no se consiguen los componentes de un proyecto, se debe recurrir a los proveedores nacionales, los cuales generalmente prestan el servicio de venta por correo. En estos casos sólo se requiere averiguar por teléfono, por fax, o por correo electrónico, la disponibilidad y precios de los elementos buscados para luego hacer el pedido. La forma de hacerlo puede variar de uno a otro y lo más recomendable es contactarlos por teléfono para recibir las instrucciones correspondientes. Como en el caso anterior, debemos ir conociéndolos como parte de nuestra experiencia.

Si los componentes necesarios son muy especiales y no se consiguen a nivel nacional, podemos buscarlos a través de proveedores internacionales, localizados generalmente en E.U.A. La forma para conocer estos proveedores es la misma que se dió para los proveedores nacionales, aunque también se puede hacer una búsqueda a través de la internet.

Nota importante. Siempre debemos buscar y conseguir primero los componentes más críticos como son los circuitos integrados, transistores, bobinas, accesorios especiales, etc. puesto que, muchas veces, compramos primero los componentes más comunes como las resistencias, los condensadores, etc., invirtiendo algún dinero en ellos para luego descartar el proyecto por no conseguir los otros componentes, perdiendo el tiempo y la inversión en ellos. Estos criterios se deben ir adquiriendo con la experiencia y el conocimiento de cómo y cuáles productos se consiguen en una

otra parte lo cual solamente el tiempo, la práctica constante y el ser un buen observador lo pueden otorgar.

Reemplazo de componentes

Es muy común tener que reemplazar algunos componentes con respecto al diseño original, debido a la dificultad para conseguirlos. En la mayoría de los casos esto no representa mayores problemas pero para hacerlo hay que actuar con un buen criterio para no afectar el buen funcionamiento del proyecto. Para las resistencias y condensadores, por ejemplo, se pueden utilizar varios de ellos en serie o en paralelo para obtener el valor equivalente, utilizando las fórmulas que hemos estudiado. Para los semiconductores, existe una serie de elementos genéricos como los ECG y NTE sobre los cuales hablaremos en detalle en la próxima lección de este curso.

Kits electrónicos

Una de las formas más fáciles y rápidas para conseguir de una vez y en un solo sitio todos los componentes para ensamblar un proyecto, es adquiriéndolos en forma de kit. Un kit electrónico, **figura 10.3**, es un conjunto de componentes que incluye el circuito impreso, el manual y muchas veces el chasis, lo cual facilita enormemente la tarea de armar un aparato completamente. El ensamblaje de kits ha sido por muchos años una de las actividades favoritas de los aficionados y practicantes de la electrónica. CEKIT S.A., como un servicio y complemento para sus estudiantes y usuarios, tiene disponibles más de 200 kits de diferentes tipos los cuales se pueden encontrar en nuestra página web: www.cekit.com.co

Documentación de los proyectos

Una buena recomendación final es que debemos guardar toda la información posible de cada proyecto que fabriquemos, como el diagrama esquemático en limpio, es decir bien dibujado y corregido si es necesario, la lista de materiales, notas sobre el ensamblaje, los componentes, las pruebas, fotografías, si es posible, etc. con el fin de que si en el futuro vamos a fabricar otra vez el mismo proyecto, ya sea como prototipo o como un producto en serie, lo podamos hacer fácilmente. Esta información la debemos guardar en carpetas debidamente marcadas con el fin de poder acceder a ellas rápidamente.

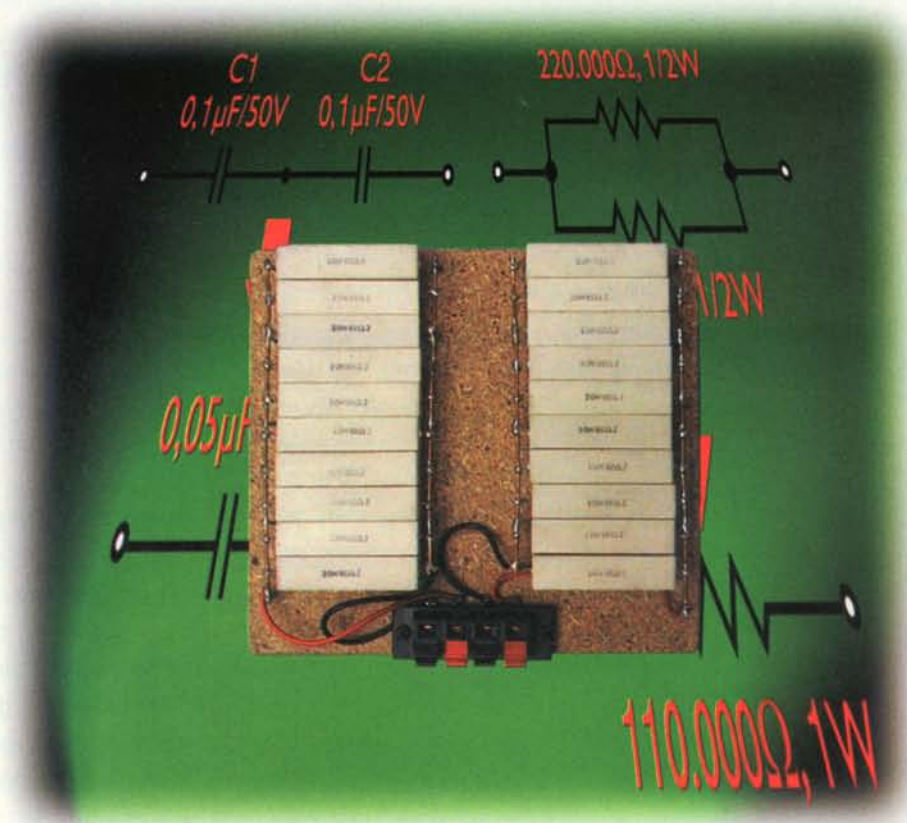


Figura 10.3. Kits electrónicos para armar

Lección II

Reemplazo de componentes electrónicos

Muchas veces es necesario reemplazar, aunque sea temporalmente para hacer pruebas, los componentes originales que aparecen en el diseño de un proyecto electrónico, ya que no se tienen a la mano o no se consiguen en el mercado fácilmente. Lo mismo ocurre en el caso de las reparaciones de aparatos electrónicos, en las cuales, a menudo, es difícil hallar el repuesto o los repuestos necesarios para hacerlas. Como en la próxima lección vamos a estudiar el tema de las reparaciones, es conveniente conocer algunas recomendaciones y técnicas para hacer estos reemplazos.



El reemplazo de componentes en los proyectos o en las reparaciones es una técnica o habilidad que todo estudiante, aficionado o técnico en electrónica, debe aprender y practicar, ya que le puede ayudar a realizar mejor su trabajo. Aunque los diseños de los circuitos y aparatos incluyen ciertos valores y referencias de componentes con los cuales trabajan óptimamente, la mayoría de estos valores se pueden modificar dentro de ciertos límites, sin que esto afecte el funcionamiento de los mismos.

Además, es posible “conformar” componentes pasivos con nuevos valores, partiendo de la combinación de varios de ellos, como en el caso de las resistencias, los condensadores y las bobinas, tal como lo veremos más adelante en esta misma lección. En el caso de los componentes activos, como los semiconductores, éstos se pueden reemplazar en la mayoría de los casos por otros similares en sus características y el circuito o aparato trabajará en la misma forma. En algunos casos de reparaciones se ha detectado, inclusive, que un reemplazo de un determinado componente mejora su funcionamiento.

En los prototipos, los circuitos experimentales y los proyectos didácticos, se pueden modificar la mayoría de los valores sin que se modifique sustancialmente su operación. Esto es importante para los profesores y estudiantes con el fin de que puedan efectuar su labor cambiando algunos de los componentes por otros que tengan a la mano, producto de anteriores proyectos o paquetes de componentes para experimentos.

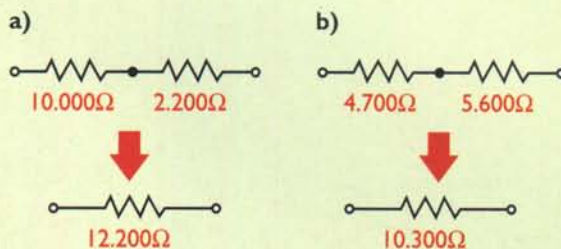


Figura 11.1. Dos resistencias en serie

Reemplazo de componentes pasivos

Como sabemos, los principales componentes pasivos son las resistencias, los condensadores y las bobinas (incluyendo los transformadores). Éstos se pueden reemplazar por otros con valores cercanos o por una combinación de varios de ellos en serie, en paralelo, o, por última necesidad, por una conexión mixta si el valor necesitado es muy crítico.

Reemplazo de resistencias

Éstos son quizás los componentes más fáciles de reemplazar debido a su sencillez y facilidad de conexión. Lo primero que debemos hacer, si no tenemos un valor determinado en ohmios para una resistencia o su tamaño en vatios, es utilizar una que tenga un valor aproximado no mayor al 20 % del valor original. Por ejemplo, si necesitamos una resistencia de 1.000 ohmios, 5%, podemos utilizar una entre 800 ohmios y 1.200 ohmios, y verificar el funcionamiento del circuito con ella. Si es una de 150.000 ohmios, podemos tratar con una entre 120.000 y 180.000 ohmios.

La otra forma es hacer una combinación en serie de dos resistencias. Como sabemos, para las resistencias en serie se suman sus valores. Así, por ejemplo, si necesitamos una resistencia de 12.000 ohmios, podemos conectar en serie una de 10.000 ohmios y una de 2.200 ohmios, formando una de 12.200 ohmios, **figura 11.1a**; o una de 4.700 ohmios en serie con una de 5.600 ohmios formando una nueva de 10.300 ohmios, **figura 11.1b**. En casos extremos y para salir de problemas se pueden conectar más de dos, lo que realmente no es muy estético, pero funciona. Recordemos que el valor de dos o más resistencias en serie siempre es mayor que el de cada una de ellas.

Para hallar valores menores, podemos acudir a la conexión en paralelo de dos o más resistencias. Si conectamos dos iguales, el valor equivalente o de reemplazo será siempre la mitad del valor de cada una. Por ejemplo, dos resistencias de 2.200 ohmios en paralelo son iguales a una de 1.100 ohmios, y así para cualquier valor. Si conectamos tres iguales, el valor equivalente será siempre la tercera parte del valor de cada una y así sucesivamente.

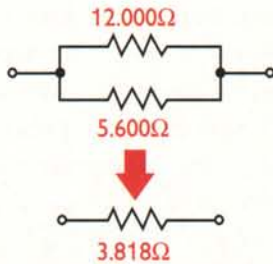


Figura 11.2. Dos resistencias en paralelo

Para dos resistencias diferentes en paralelo, el valor se calcula en forma simplificada por medio de la siguiente fórmula:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Teniendo en cuenta que en este caso, el valor resultante será siempre menor que el valor de la menor resistencia conectada. Por ejemplo, una resistencia de 12.000 ohmios y una de 5.600 ohmios en paralelo son equivalentes a una de 3.818 ohmios, figura 11.2.

Como sabemos, con tres o más resistencias se debe utilizar la fórmula que se muestra en la figura 11.3, para lo cual ya debemos utilizar la calculadora.

Para los vatios, recordemos que las resistencias pueden “disipar” una determinada cantidad de calor en vatios sin destruirse. Por eso hay en electrónica resistencias de 1/4W, de 1/2W, de 1W, etc. En las conexiones en serie de resistencias de diferente potencia, el vataje será el de la menor. Por ejemplo, una resistencia de 1.000 ohmios a 1/4 de vatio en serie con una de 1.000 ohmios a 1/2 vatio, darán como equivalente una de 2.000 ohmios a 1/4 de vatio, figura 11.4a.

En las conexiones en paralelo, los vatajes se suman y la resistencia se divide. Por ejemplo, dos resistencias en paralelo de 220.000 ohmios a 1/2W darán una de 110.000 ohmios a 1W, figura 11.4b. Un ejemplo práctico y muy útil de este último caso, es una combinación en paralelo de diez resistencias de potencia de 82 ohmios a 20W dando como resultado una de 8,20 ohmios a 200 vatios, cuyo montaje se utiliza como “carga fantasma” para la prueba de amplificadores de audio, figura 11.5. Podemos “jugar”

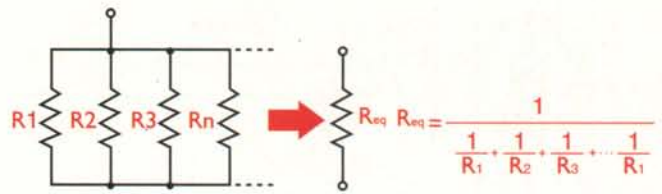


Figura 11.3. Varias resistencias en paralelo

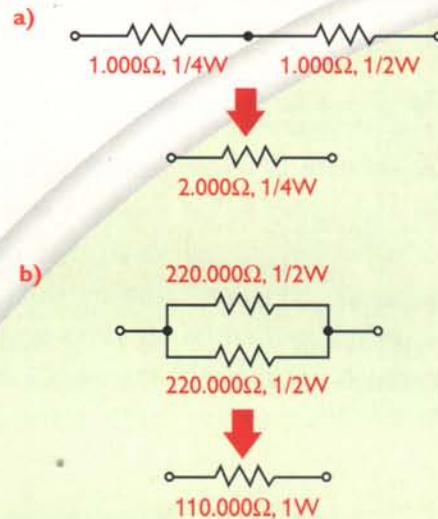


Figura 11.4.

- a) Dos resistencias en serie con diferente potencia
- b) Dos resistencias en paralelo, para lograr mayor potencia

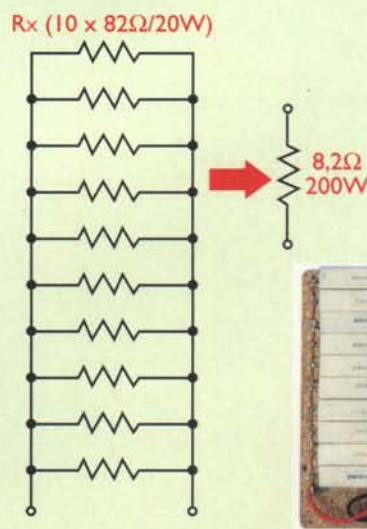


Figura 11.5. Varias resistencias de potencia en paralelo para lograr una carga de baja resistencia y alta potencia (carga fantasma)

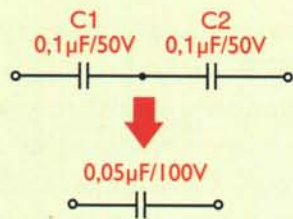


Figura 11.6. Dos condensadores del mismo valor conectados en serie

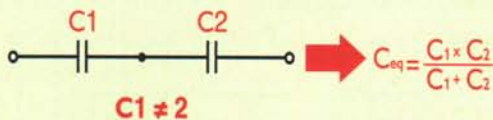


Figura 11.7. Fórmula para dos condensadores conectados en serie

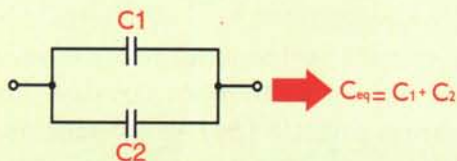


Figura 11.8. Fórmula para dos condensadores de diferente valor conectados en paralelo



Figura 11.9. Reglas para la conexión de condensadores polarizados en serie y en paralelo

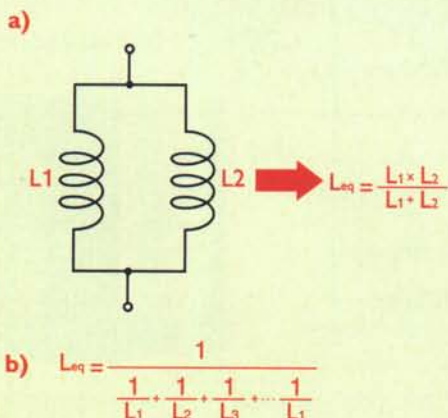


Figura 11.10. Fórmulas para bobinas conectadas en paralelo

entonces con diferentes conexiones y tamaños para formar casi cualquier resistencia que necesitemos. Para los potenciómetros, que son resistencias variables, ya sean externos o para circuito impreso, en la mayoría de los casos se pueden reemplazar por valores cercanos, ojalá no mayores o menores al 20%.

Reemplazo de condensadores

Los condensadores también se prestan para ser reemplazados en forma relativamente fácil. En estos componentes debemos tener en cuenta la capacidad en microfaradios (μF) u otra unidad de medida (pF , nF , etc.) y el voltaje máximo de trabajo. El caso más común es reemplazarlo por uno de la misma capacidad pero con un voltaje mayor, nunca menor. Así no habrá problemas con el circuito. Lo que hay que tener en cuenta en este caso es el espacio físico que haya para este condensador ya que, a mayor voltaje, mayor tamaño.

Para lograr valores menores con condensadores mayores, se deben conectar en serie. Si son dos iguales, por ejemplo de $0,1 \mu\text{F}/50\text{V}$, el valor final será de $0,05 \mu\text{F}/100\text{V}$, figura 11.6. Note que el voltaje se aumenta al doble. Si son dos condensadores en serie de diferente valor, hay que utilizar la fórmula que se muestra en la figura 11.7. Si conectamos condensadores en paralelo, la capacidad aumentará sumando los valores de cada uno de los que forman la unión, figura 11.8. En este caso el voltaje de trabajo del nuevo condensador será el del menor de ellos. Si se conectan condensadores con diferentes unidades de medida (pF , nF ó μF), hay que convertirlas primero todas a la misma unidad para poder calcular el valor final, el cual será en esa unidad. Si los condensadores son polarizados (electrolíticos, de tantalio, etc.) hay que respetar la polaridad en las conexiones en serie y en paralelo, figura 11.9.

Reemplazo de bobinas

Para el reemplazo de bobinas, se hace de la misma forma que con las resistencias; recordemos que la inductancia de las bobinas en serie se suma y que, para las bobinas en paralelo, se utilizan las fórmulas que se muestran en la figura 11.10a cuando son dos, y en la figura 11.10b cuando son más de dos. Estos reemplazos no son muy utilizados debido al tamaño relativamente grande de las bobinas.



Reemplazo de componentes activos (semiconductores)

Este es el caso más utilizado de todos, y, como ya lo mencionamos, muchas veces es necesario hacerlo debido a la dificultad para conseguir cierta referencia de un diodo, un transistor, un circuito integrado u otro, que aparece en un diagrama de un proyecto o que está instalado en un aparato que estamos reparando y el cual se ha detectado como defectuoso o, a veces, “sospechoso” de causar el mal funcionamiento.

Como lo vimos en la sección de Componentes de este curso, los diodos, los transistores, los circuitos integrados y los semiconductores en general, tienen ciertas características eléctricas (generalmente corriente y voltaje) que los distinguen entre sí dando lugar a varios tipos o grupos dentro de las diferentes categorías. Lo primero que podemos hacer es reemplazar un cierto diodo o transistor por uno del mismo tipo y con características similares.

Es así como los diodos que trabajan como rectificadores se pueden reemplazar por uno de mayor corriente y mayor voltaje. Por ejemplo, los diodos IN4001, IN4002, IN4004, etc. tienen la misma corriente (1,5 A) pero diferente voltaje de trabajo. En este caso podemos reemplazar un IN4001 por un IN4004. Se podría también reemplazar por uno de mayor corriente y el mismo voltaje o mayor, siempre y cuando el espacio lo permita. Tampoco nos debemos ir a extremos, por ejemplo, reemplazar un diodo de 1,5 A por uno de 10 A, ya que sería muy exagerado su tamaño para el circuito original. Los diodos rectificadores se pueden conectar en paralelo para obtener corrientes mayores; en este caso es recomendable que sean similares para determinar fácilmente la corriente que soporta el nuevo conjunto, **figura 11.11**.

Con otros tipos de diodos, como los de conmutación (*switching diodes*) debemos tener en cuenta sus características, como la corriente, el voltaje

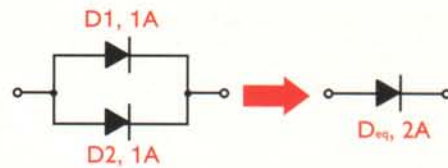


Figura 11.11. Dos diodos rectificadores conectados en paralelo para lograr mayor corriente

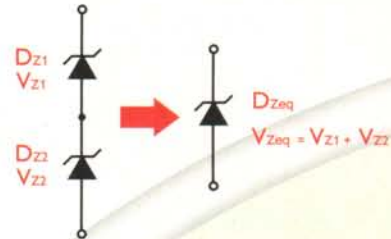


Figura 11.12. Dos diodos Zener conectados en serie para lograr mayor voltaje

y su tiempo de conmutación, para reemplazarlos con alguno similar o de mejores características. Por ejemplo, el diodo IN4148 se puede reemplazar por un IN914 o por un IN4448. Los diodos Zener se pueden conectar en serie para lograr un voltaje diferente, **figura 11.12**, pero siempre conservando la potencia original conectando diodos con el mismo valor o mayor, para esta unidad de medida en vatios.

Reemplazo de transistores

Debido a la gran cantidad de referencias de transistores que existen, éstos se pueden reemplazar entre sí sin mayores dificultades. Además, la mayoría de los circuitos con estos dispositivos se diseñan de tal forma que sean independientes en gran parte de sus características, es decir, pueden trabajar bien con una u otra referencia similar. Por otro lado, existen los llamados transistores genéricos o de reemplazo, que estudiaremos más adelante, los cuales facilitan este procedimiento.

Para reemplazar un transistor por otro, ya sea bipolar o FET, debemos analizar sus principales características como son, por ejemplo, en los bipolares: tipo (NPN o PNP), voltaje máximo, corriente máxima, frecuencia de trabajo y ganancia de corriente (β). También se debe tener en cuenta si el transistor va montado en un circuito impreso, como en la mayoría de los casos, que los

Características	BC547	2N3904	2N2222
Voltaje máximo	50V	60V	60~75V
Corriente máxima	0,1A	0,1A	0,8 A
Potencia	0,5W	0,625W	0,5W
Frecuencia	300MHz	>250MHz	>250MHz
Factor de amplificación	100	>100	>100

Figura 11.13. Características similares de varios transistores

terminales (base, emisor y colector), tengan la misma disposición del original.

El tipo debe ser lógicamente el mismo; las demás características eléctricas deben ser iguales o un poco mayores sin que se afecte la estética del circuito ya que, si utilizamos, por ejemplo, un transistor con una corriente y un voltaje mucho más altos, su tamaño seguramente va a ser mayor y los terminales van a ser difíciles de acomodar. La ganancia de corriente debe ser igual o mayor, ella es independiente del tamaño del transistor. Cuando estamos trabajando en un circuito experimental o didáctico, el reemplazo de uno o varios transistores se puede hacer por algunos similares sin afectar el funcionamiento.

Por ejemplo, si se requiere reemplazar el transistor de propósito general con referencia BC547, lo podemos hacer por las referencias 2N3904 ó 2N2222, lo cual se puede observar mejor en la figura 11.13

Semiconductores genéricos o de reemplazo

La industria de los semiconductores se ideó un sistema de componentes genéricos o de reemplazo los cuales han sido ampliamente utilizados especialmente para la reparación de todo tipo de aparatos. Este sistema lo inició la RCA con su línea llamada SK en la cual todas las referencias empezaban con las letras SK. Luego se popularizó la línea ECG de Philips Semiconductor, y, por último, se ha consolidado en el mercado la línea NTE de la empresa NTE, Inc., la cual adquirió recientemente la marca ECG quedando como la única en el mercado actualmente.

Lo que se hizo con este sistema fue diseñar una serie de semiconductores, como diodos, transistores y circuitos integrados con unas determinadas características eléctricas, de tal manera que cada uno pudiera reemplazar un grupo grande de elementos simplificando así la gran cantidad de referencias que existen. Según sus fabricantes, éstos se pueden utilizar con gran confianza ya que sus características superan las de aquellos que pueden reemplazar.

En transistores, por ejemplo, existen las referencias desde la ECG10 hasta la ECG3320, cuyas características se encuentran en un manual o libro (similar a un directorio telefónico), llamado Manual de reemplazos ECG o *ECG Master Replacement Guide*, figura 11.14. Todavía se consiguen en el mercado los manuales ECG pero probablemente solo quedarán los manuales NTE que son similares, figura 11.15, debido a la adquisición de la empresa anterior (ECG) por la NTE Inc. Esto no genera problemas ya que las referencias de NTE son las mismas de ECG, por ejemplo el ECG2427 es el mismo NTE2427.

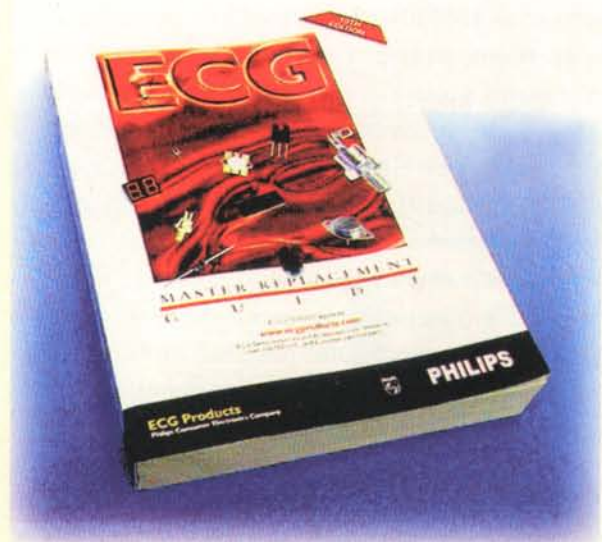


Figura 11.14. Manual de reemplazos ECG

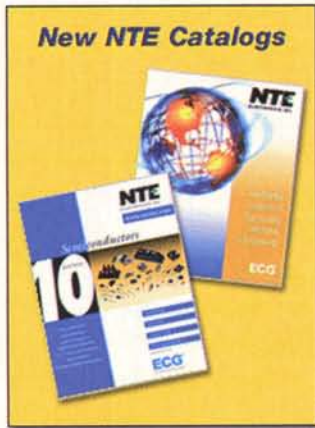


Figura 11.15. Manual de reemplazos NTE

El conocimiento y manejo de estos manuales es muy fácil y es muy importante para todo estudiante, técnico o profesional de la electrónica, ya que le puede ayudar a solucionar muchos problemas o servir como manual técnico de semiconductores, por lo cual le recomendamos ampliamente que consiga uno de estos ejemplares. En ellos se encuentran casi todas las referencias que existen tanto de diodos como de transistores y circuitos integrados. Además de las características eléctricas, se encuentran su función principal y la disposición de sus terminales, o de los pines, en el caso de los circuitos integrados lo cual puede ser de gran utilidad en un momento dado.

Para utilizar el manual o sistema de reemplazos, primero se busca la referencia del semiconductor que se quiere reemplazar, en la parte final del manual (páginas 2-3 hasta la 2-344, en el manual ECG edición 19) y a su lado encontrará la referencia ECG o NTE equivalente. Luego se va a la parte inicial del manual en donde están todas las referencias en orden ascendente, y allí le indica en cual página se encuentra esta referencia ECG o NTE, con todas sus características en detalle incluyendo su encapsulado. Con la referencia de éste se va a otra sección de solo encapsulados, en donde se puede ver su forma, sus dimensiones exactas y la disposición de los terminales.

En la sección general de referencias, parte final del manual, éstas se encuentran ordenadas o clasificadas primero por números en forma ascendente, luego las combinaciones de letras y números como 1A0012, 1N4004, 1S124, 2N1131, 2SC2231 y, por último, las que empiezan por una o varias letras en orden alfabético como A1185, LM224, SC148, etc. Una mirada rápida al sistema de ordenamiento en todas las páginas nos hará familiarizar con él y nos ayudará a encontrar cualquier referencia.

Para ilustrar este procedimiento, y entenderlo mejor para su posterior aplicación, veamos

To Be Replaced	ECG Replacement	To Be Replaced	ECG Replacement	To Be Replaced	ECG Replacement
2SA75	126A	2SA182	126A	2SA277	100
2SA75B	126A	2SA183	126A	2SA278	100
2SA78	126A	2SA184	126A	2SA279	100
2SA77	126A	2SA185	126A	2SA280	100
2SA77A	126A	2SA186	126A	2SA281	100
2SA77B	126A	2SA187	100	2SA282	102A
2SA77C	126A	2SA188	100	2SA283	100
2SA77D	126A	2SA188A	100	2SA284	100
2SA78	102A	2SA189	100	2SA285	160
2SA78B	102A	2SA170	100	2SA286	160
2SA78C	102A	2SA171	100	2SA287	160
2SA78D	102A	2SA172	100	2SA288	126A
2SA79	102A	2SA172A	100	2SA288A	126A
2SA80	126A	2SA173	102A	2SA289	126A
2SA81	160	2SA173B	102A	2SA290	126A
2SA82	126A	2SA174	102	2SA291	126A

Figura 11.16. Buscando el reemplazo para el transistor 2SA75

ECG124	NPN-Si, HV Audio Pwr Output	300	300	5	.150	20	30	100 typ	TO-66	T25
ECG126A	PNP-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	15	15	3	50 mA	300 mW ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	250	40 typ	TO-18	T2
ECG127	PNP-Ge, Horiz & Vert Defl, Pwr Output	320	320 (CES)	2	10	40	1	15 min	TO-3	T28

Figura 11.17. Características completas del transistor de reemplazo ECG126A

126A	1-42	T2	T-PNP, Ge, RF/IF Amp, Osc, Mixer
127	1-42	T28	T-PNP, Ge, Defl Amp, AF PO
128	1-42	T6	T-NPN, Si, AF Preamp, Dr, Vid Amp
128P	1-42	T17	T-NPN, Si, Gen Purp Amp, Sw
129	1-42	T6	T-PNP, Si, AF Preamp, Dr, Vid Amp

Figura 11.18. Encapsulado del transistor de reemplazo ECG126A

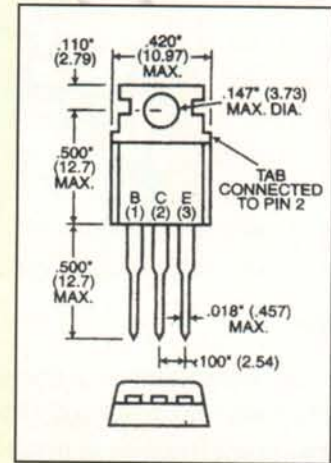


Figura 11.20. Medidas exactas del encapsulado TO-220

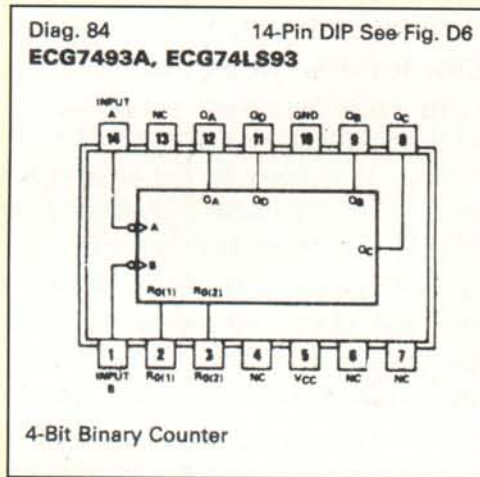


Figura 11.19. Diagrama de pines del circuito integrado 7493

grados como el que se muestra en la figura 11.19, y las medidas físicas exactas de los semiconductores, figura 11.20, que son necesarias para el diseño correcto de los circuitos impresos. La empresa NTE Inc, también tiene un programa en CD ROM que nos permite encontrar fácilmente un reemplazo y sus características; así como una página web (www.nteinc.com), figura 11.21, para encontrar, a través de la internet, un reemplazo o las características de un determinado semiconductor.

el siguiente ejemplo: tenemos un aparato con un daño en un transistor con referencia 2SA75 (sistema japonés), difícil de conseguir. Buscando en la lista general, encontramos que su reemplazo es el ECG126A (página 2-32), tal como se muestra en la figura 11.16. Con este dato, suficiente para intentar conseguirlo, vamos a la página 1-10 en la cual se muestran sus características generales y en donde se indica a su vez que las características detalladas se encuentran en la página 1-42, figura 11.17, donde vemos que la figura para su encapsulado (TO-18) es la T2, figura 11.18

Le recomendamos, si tiene una computadora disponible, que se conecte a esta página para que se familiarice con ella.

Como ya lo mencionamos, estos manuales también se utilizan como manuales técnicos generales para apoyarnos en ellos en la obtención de los datos técnicos de muchos semiconductores, entre ellos, los diagramas de pines de muchos circuitos inte-



Figura 11.21. Página web de la empresa NTE Inc.

Lección 12

Reparación de circuitos y aparatos electrónicos

Todo circuito o aparato electrónico, debido a su misma naturaleza (muchos componentes trabajando permanentemente con corriente eléctrica) y condiciones de funcionamiento, es susceptible de averiarse. Por lo tanto, las reparaciones electrónicas son una fuente importante de trabajo y de ingresos a nivel mundial, siendo ésta una de las actividades en donde más se emplea personal calificado principalmente en lo que llamamos electrónica de consumo (radios, televisores, equipos de video, computadoras, etc). Con los conocimientos adquiridos en este curso, es posible emprender la reparación de aparatos sencillos e ir avanzando hacia técnicas más complejas.

En esta lección les entregaremos algunas nociones básicas sobre una metodología ordenada y efectiva para hacer buenas reparaciones y algunos consejos prácticos que facilitan esta tarea.



Las averías en los aparatos electrónicos se pueden presentar por varias razones, siendo las más comunes: un mal manejo, malas condiciones de operación como un voltaje muy alto, una sobrecarga o un cortocircuito en la salida de un amplificador, una mala conexión de un dispositivo externo, averías en los componentes internos, mala calidad en el diseño y la fabricación, etc. Lo más importante es que la mayoría de las averías se pueden reparar, y a veces, a muy bajo costo.

¿Qué es reparar?

Estrictamente hablando, la reparación de un aparato electrónico implica que éste haya trabajado alguna vez, que esté fallando y que deba volverse nuevamente operativo. Para conseguir este objetivo, se deben tener suficientes conocimientos acerca del funcionamiento del mismo y aplicarlos en forma lógica, práctica e inteligente. Es absurdo y peligroso pretender, por ejemplo, reparar una computadora o una cámara de video cuando se desconoce cómo funcionan o cómo están estructuradas.

En general, y con mayor razón en electrónica, toda reparación debe ser un proceso sistemático de varias etapas que comienza con un **diagnóstico**, es decir, la identificación de la sección donde se localiza el problema; continúa con la **localización** mediante instrumentos de prueba de la etapa que está fallando; y finaliza con el **aislamiento** de la falla y la **sustitución** o reemplazo del ó de los componentes defectuosos. Esto es lo que también se puede llamar la **metodología** para una reparación, **figura 12.1**

Un buen reparador debe aprender con el tiempo a desarrollar su propia metodología, sugerida por sus conocimientos, experiencias y habilidades para diagnosticar, localizar, aislar y corregir fallas en un determinado aparato, y diseñar un plan para repararlo. Sólo así se deja de ser un empírico, como muchos técnicos, para convertirse en un experto. En esta lección le proporcionaremos los principales conceptos para guiarlo en la búsqueda de un modo de proceder lógico y eficiente en cada caso.

Esto debe ir acompañado de una buena documentación, como diagramas, manuales de servicio, hojas de datos de los componentes, etc. y un buen juego de herramientas y equipos de prueba, temas que explicaremos en detalle más adelante.

¿Qué es un aparato electrónico?

Como ya lo hemos visto de diferentes formas, un aparato electrónico es un sistema que cumple una función específica, como recibir emisoras en el caso de una radio, reproducir música en un sistema de sonido, procesar información en una computadora, controlar un proceso industrial, etc. Éstos se construyen a partir de un conjunto de componentes conectados en una determinada forma para formar circuitos, los que se combinan en etapas; éstas, a su vez, forman secciones, y varias secciones conforman el aparato.

Hay muchos tipos de aparatos electrónicos los cuales se agrupan según su función principal, como receptores de radio, receptores de televisión, reproductores musicales, computadoras, videojuegos, equipos para electromedicina, aparatos de comunicaciones, sistemas de control, etc. Además, hay diferentes tecnologías de fabricación según los principales componentes utilizados, como los transistores, los circuitos integrados, tipos de circuitos impresos, etc.

En la mayoría de estos aparatos hay una serie de circuitos que son similares para todos, tales como las fuentes de poder, amplificadores, osciladores, cir-



Figura 12.1. Pasos involucrados en el proceso de una reparación

cuitos lógicos digitales, visualizadores, etc., los cuales están formados por los mismos componentes que hemos estudiado, como las resistencias, condensadores, bobinas, diodos, transistores y circuitos integrados, entre otros. Por lo tanto, a pesar de la gran variedad de aparatos en cuanto a funciones, modelos y marcas que hay instalados, y que se ofrecen en el mercado, la similitud de los circuitos y de los componentes facilitan las tareas de reparación.

¿Por qué fallan los aparatos?

A pesar del alto grado de perfeccionamiento alcanzado en el desarrollo y fabricación de los aparatos electrónicos, éstos siempre están expuestos a fallas. Estas últimas pueden resultar del desgaste normal tras un período de uso razonable, especialmente algunas piezas mecánicas o aquellas que trabajan con voltajes y corrientes altas; las fallas también pueden tener su origen en la mala calidad del producto (diseño deficiente, defectos de fabricación, etc.), el sometimiento del mismo a condiciones anormales de funcionamiento (sobrevoltajes, cortocircuitos, temperaturas extremas, etc.), y otras causas.

En cuanto a la calidad, es ahí donde se originan las diferencias entre los distintos fabricantes, ya sea por el diseño, la calidad de los componentes utilizados, la calidad en los procesos de fabricación, la calidad en las pruebas, en los manuales de usuario, en los empaques, etc. Lógicamente, en los productos de mayor calidad, serán menos frecuentes los casos de reparación. Esto se refleja directamente en el precio del producto y cuando los vayamos a comprar debemos tener en cuenta que muchas veces se cumple el refrán popular que dice: «Lo barato sale caro», ya que al final un aparato económico debe ser reparado con frecuencia y, en la mayoría de los casos, debe desecharse definitivamente perdiéndose la inversión.

Una de las habilidades que deben desarrollar las personas que trabajan con electrónica, ya sea como pasatiempo o profesión, es la de reconocer la calidad de los productos y de sus componentes con el fin de ir conociendo las buenas marcas y su calidad.

Muchas veces, una falla se origina simplemente porque el usuario desconoce como operar bien un aparato o hace un mal empleo del mismo. Aunque los aparatos modernos son bastante robustos y resistentes, la ignorancia y los errores de juicio pueden llegar a superar sin dificultades los mejores mecanismos de protección contra impactos. Una de las muchas habilidades que debe adquirir un reparador es, precisamente, la de aprender a interrogar a los clientes para averiguar el modo en que fue tratado un aparato antes de que se averiara. Esta información puede serle de gran ayuda para emitir un diagnóstico.

También debe tener la responsabilidad y la postura ética de responder a las inquietudes relacionadas con sus aparatos, y aconsejarlos con respecto al cuidado y utilización de los mismos.

Aspectos generales de la metodología para las reparaciones

Para la investigación y solución de las fallas que se presentan en los aparatos, procedimiento llamado *troubleshooting* en inglés, no existen reglas definidas. Sin embargo, para hacerlo en forma eficaz es muy conveniente adoptar una metodología general para acercarse a la solución de un problema de un modo lógico y sistemático. Este procedimiento, que incluye las fases de diagnóstico, localización, aislamiento y sustitución antes mencionadas, puede ser resumido en los siguientes pasos:

1. Identifique claramente la avería preguntando al cliente o usuario de la manera más precisa y concreta posible los síntomas que se presentan y que determinan el mal funcionamiento del aparato. Por ejemplo, que la radio no capta todas las emisoras, o que en un equipo de sonido no funciona uno de los dos canales, que la videograbadora reproduce las cintas con unas líneas horizontales o simplemente que el aparato está «muerto», es decir, no da ninguna señal de funcionamiento. Muchas veces el cliente considera que tal o cual ele-

mento está defectuoso, esto se puede tener en cuenta pero no siempre es acertado. Escriba estos síntomas para basarse en ellos al iniciar el proceso.

2. Verifique factores externos tales como la instalación física y eléctrica, el voltaje de funcionamiento, los insumos utilizados (como en el caso de las computadoras e impresoras), etc. Estos datos deben ser consistentes con los recomendados por el fabricante; si no es así, hay que reparar el aparato y corregir estos problemas antes de volver a instalarlo.
3. Realice una inspección visual general del aparato para detectar daños físicos evidentes que pudieran alterar su funcionamiento normal. Por ejemplo, la puerta o el soporte de un reproductor de CD no cierra bien debido a una deformación, o tiene una avería en el mecanismo que lo maneja, o los cables de conexión a los parlantes están rotos, el cable de alimentación está dañado, etc. El resultado de esta inspección debe escribirse con el fin de tenerlo en cuenta durante el proceso de reparación.
4. Revise que los controles de operación del aparato estén en las posiciones correctas; de lo contrario, éste no podrá iniciar su ciclo de trabajo, o éste se alterará. Por ejemplo, puede existir un selector del voltaje de entrada el cual se ha pasado involuntariamente a otro valor (por ejemplo 220VCA para una alimentación de 110VCA). En los aparatos modernos pueden existir botones con varias funciones que el usuario no entiende y, al activar alguna de ellas, pareciera que el aparato no funciona o lo hace incorrectamente.
5. Opere el aparato en la forma como normalmente debe hacerse y compare su funcionamiento con la operación normal especificada por el fabricante en el manual del usuario. Si éste trabaja correctamente, instruya al cliente sobre la forma apropiada de operarlo. Si

no es así, proceda a localizar la causa de la falla. Los manuales de servicio de los fabricantes incluyen generalmente tablas de diagnóstico con las fallas más comunes y sus posibles soluciones, las cuales, muchas veces resuelven el problema.

Recomendaciones generales

Antes de comenzar a buscar y analizar sistemáticamente las causas de una falla, revise primero los elementos más fáciles de reparar. De este modo, si el daño es sencillo, se ahorrará tiempo valioso y no tendrá que recurrir a procedimientos innecesarios. Comience por hacer una inspección visual completa para detectar conexiones sueltas, alambres rotos, uniones mal soldadas, componentes quemados, fusibles fundidos, partes deterioradas, etc.

Acostúmbrese también a utilizar sus cinco sentidos en forma práctica. Por ejemplo, si al conectar un aparato se siente un olor a quemado, puede averiguar con su olfato el origen del mismo y descubrir rápidamente la parte que está fallando. Así mismo, con su oído puede hacer el seguimiento de ruidos inusuales y con su tacto detectar componentes flojos, sobrecalentados, etc. Una vez cumplidas las anteriores rutinas, si no se encuentra la falla, es necesario el uso de herramientas e instrumentos de prueba para asistirlo en el análisis y definición del problema, lo cual explicaremos en detalle más adelante.

Para finalizar, tenga siempre presente que algunos aparatos y sistemas eléctricos y electrónicos, en general, pueden ser peligrosos y letales. Por esta razón, es importante adoptar medidas de seguridad para evitar descargas eléctricas, incendios, explosiones, averías mecánicas y heridas resultantes del uso inadecuado de los mismos. Por su propia protección, la de los aparatos mismos, y del sitio donde hace sus reparaciones, respete las recomendaciones de seguridad proporcionadas por los fabricantes y nunca omita las normas básicas de seguridad eléctrica.

Estructura de los aparatos electrónicos

Uno de los principales aspectos que debemos conocer antes de reparar cualquier aparato electrónico es la identificación de su estructura, es decir, su composición interna, la cual establece su división en diferentes partes, con el fin de entender mejor su funcionamiento y facilitar su reparación. Cualquier aparato electrónico por sencillo o complejo que sea se puede dividir en secciones, etapas, circuitos y componentes.

Las **secciones** son los bloques principales del aparato, cada una con una función específica; por ejemplo, en un receptor de radio en AM hay cuatro secciones principales: la de radiofrecuencia o RF, la de frecuencia intermedia o FI, la de audio o sonido y la fuente de poder, **figura 12.2**. La sección de RF es la encargada de recibir, seleccionar y amplificar cada una de las emisoras; la sección de FI tiene como función la eliminación de emisoras adyacentes y amplificar la señal seleccionada; la sección de audio debe convertir estas señales en ondas sonoras de buen volumen y fidelidad; y la fuente de poder es la encargada de convertir la energía de corriente alterna (CA), presente en los tomacorrientes, en corriente continua (CC) y alimentar con ella las demás secciones.

Dependiendo de esta división se establece lo que se llama el **diagrama de bloques** de un aparato, el cual permite visualizar fácilmente su estructura general y su principio básico de funciona-

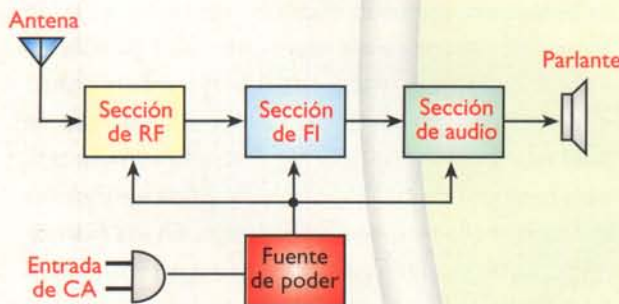


Figura 12.2. División de un receptor de radio AM en secciones o bloques

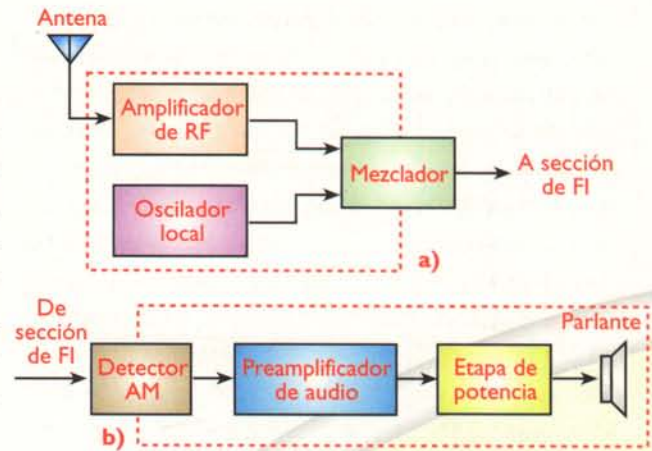


Figura 12.3. Receptor en AM. a) Etapas de la sección de RF. b) Etapas de la sección de audio

miento, lo que facilita la tarea de la reparación dividiendo, lo que parece muy complejo, en pequeñas áreas más comprensibles.

Las secciones se subdividen en **etapas** que por lo general se encuentran alrededor de un transistor o un circuito integrado, acompañados por otros componentes, como resistencias, condensadores, diodos, etc. Una sección puede tener una o varias etapas, según su función o trabajo. Por ejemplo, en la **figura 12.3** se muestran las secciones de RF y de audio de un receptor en AM típico con sus respectivas etapas. Todas las etapas de una sección manejan el mismo tipo de señal; en la sección de RF, de la figura 12.3a, se manejan señales de alta frecuencia y en la sección de audio, de la figura 12.3b, se manejan señales de baja frecuencia o sonido.

Hay un tipo muy común de etapas llamadas etapas de acople o interfaz, las cuales se encargan de pasar la señal de una sección a otra, lo cual implica que convierten un tipo de señal en otra y, además, pertenecen a dos o más secciones. Por ejemplo, en la figura 12.3b, el detector de AM convierte la señal de FI en señal de audio.

Continuando con la estructura, las etapas se dividen en **circuitos**; lo cual algunas veces no es muy claro ya que una etapa, cuando es muy sencilla, se puede tomar como un circuito y viceversa. Se debe entonces aprender a distinguir los dife-

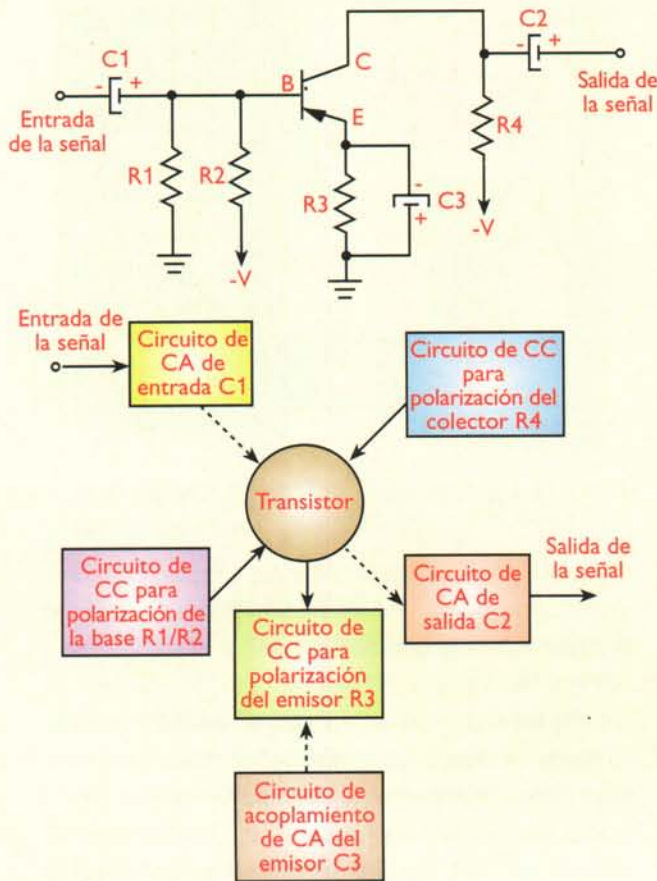


Figura 12.4. Circuitos de una etapa amplificadora con un transistor PNP

rentes circuitos que hacen parte de una etapa para trabajar correctamente en el proceso de las reparaciones. Los circuitos están formados generalmente por uno o varios componentes conectados en serie, en paralelo o en forma mixta. Para aclarar este concepto observemos la **figura 12.4** correspondiente a una etapa amplificadora conformada por un transistor bipolar tipo PNP conectado en configuración de emisor común y varios componentes pasivos. En la figura podemos ver los diferentes circuitos que la componen.

En esta división podemos analizar también otro concepto muy importante que se utiliza en todo tipo de aparatos; hay circuitos de corriente continua o polarización y circuitos de corriente alterna o de señal. En la figura 12.4 los diferenciamos por medio de líneas sólidas para los de CC y líneas punteadas para los de CA. Esto es muy útil para

poder hacer las mediciones y los análisis apropiados en cada uno de ellos, dependiendo de su función y naturaleza.

Para terminar esta división, definimos que los circuitos están formados por **componentes** o partes electrónicas, los cuales, son los elementos individuales que cumplen funciones propias de su construcción y naturaleza, tal como lo hemos estudiado en la sección de **Componentes** de este curso. Dependiendo de la función que desempeñan en cada circuito o en el sitio en el cual estén conectados, los componentes básicos toman diferentes nombres, como resistencia de carga, resistencia de emisor, condensador de acople, condensador de filtro, bobina de antena, interruptor general, etc.

Para poder trabajar bajo esta metodología y división, debemos primero que todo estar muy familiarizados con los diagramas esquemáticos o planos de los aparatos y los símbolos de cada uno de los componentes. Éste es el punto de partida ya que los diagramas de bloques no siempre están definidos y en la mayoría de los casos debemos partir de aquellos para llegar a éstos. Aún más, si no hay un diagrama esquemático disponible, a veces es necesario que lo dibujemos a partir del análisis y observación del aparato real, lo cual no es tan simple ahora debido a la miniaturización y lo compactos que son los aparatos electrónicos modernos.

Afortunadamente la mayoría de los fabricantes han publicado los diagramas de sus diferentes modelos y sus manuales de servicio (*service manuals*); por lo tanto, una de las primeras habilidades que debe desarrollar todo técnico reparador es la de aprender a conseguir la mayor cantidad posible de información sobre el aparato que va a reparar, tema que veremos en una próxima lección. Además, es muy importante conocer qué tipo de señales maneja cada una de las etapas con el fin de verificarlas durante el proceso de la reparación. En los manuales de servicio aparecen dibujadas estas señales para que el técnico las compare con las obtenidas con instrumentos de prueba, como el osciloscopio, por ejemplo.

Si no tenemos disponibles estos diagramas, que es lo más recomendable, debemos desarrollar una habilidad adicional la cual consiste en establecer mentalmente la estructura del aparato que se va a reparar y en buena parte su diagrama esquemático. Es en este momento cuando más se requiere y justifica el estudio de cursos como éste y otros más avanzados, para poder deducir y entender el funcionamiento de todo tipo de circuitos y componentes.

Metodología para las reparaciones

Como ya lo mencionamos, la metodología más universal para las reparaciones de aparatos electrónicos tiene cuatro fases principales: diagnóstico de la falla, localización de la misma, aislamiento del problema y sustitución de componentes. Veamos ahora los aspectos fundamentales de cada una de estas fases.

Diagnóstico de fallas

Esta fase corresponde a la identificación de la sección en la cual se está presentando el problema y

de ahí la importancia del conocimiento inicial sobre la división del aparato en secciones, con el fin de poder trabajar ordenadamente en este proceso. Por ejemplo, si en un receptor de radio en AM, cuyo diagrama de bloques se mostró en la figura 12.2, no funciona, es decir, no hay ninguna señal de sonido, ruidos, indicaciones luminosas, etc. lo más probable es que la avería esté en la fuente de poder o en el circuito de alimentación de CA.

De acuerdo a esta suposición, lo que debemos hacer es medir los voltajes de entrada (CA) y salida (CC) de la fuente de poder con un multímetro. Si no hay voltaje de salida de CC, entonces la avería está en la fuente. Si éstos son correctos, el problema está en otra sección. Si no hay ningún sonido, el problema podría estar entonces en la sección del amplificador de audio y debemos proceder a revisarlo tal como lo explicaremos más adelante. Si éste está bien, pasamos a otra sección y así sucesivamente hasta encontrar el problema. Con la práctica, los técnicos van desarrollando una cierta habilidad para localizar fácilmente la sección defectuosa dependiendo de los síntomas presentados.



Figura 12.5. Instrumentos de prueba más utilizados en la reparación de aparatos electrónicos



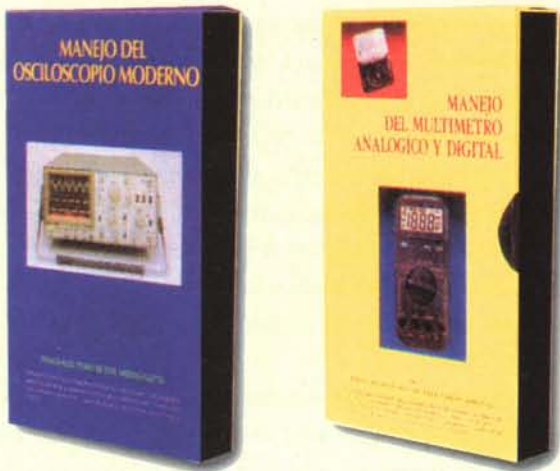


Figura 12.6. Videos didácticos para aprender a manejar los instrumentos de prueba

Localización de la falla

En esta segunda fase, vamos penetrando más en la estructura interna del aparato y nos dedicamos al análisis de las diferentes etapas de la sección defectuosa hasta localizar la o las que están ocasionando el problema, tal como lo veremos más adelante con algunos ejemplos prácticos. En este momento ya debemos empezar a utilizar más a fondo los instrumentos de prueba, como los multímetros análogos y/o digitales, los generadores de señal y el osciloscopio, **figura 12.5**. Por eso, el primer paso para ser un buen técnico reparador es tener un buen conocimiento práctico del manejo de estos instrumentos. Para iniciarse en las técnicas de reparación, puede hacerlo con aparatos sencillos, utilizando solamente un buen multímetro, preferiblemente digital.

Si usted todavía no se siente muy seguro en el manejo de los instrumentos, le recomendamos repasar las lecciones de este curso que tratan este tema y otros, como el “Curso Práctico de Electrónica Moderna” de CEKIT, el cual incluye lecciones muy completas sobre estas técnicas. También le recomendamos que adquiera los videos de CEKIT titulados: “El manejo del multímetro análogo y digital” y el “Manejo del Osciloscopio moderno”, **figura 12.6**, por medio de los cuales se puede aprender en forma muy efectiva el manejo de estos útiles instrumentos.

Aquí también es muy importante la correcta identificación de cada una de las etapas. Por ejemplo, en una fuente de poder típica está la etapa de entrada (cable de entrada o alimentación, interruptor general y fusible general), etapa rectificadora, etapa de filtro, etapa reguladora, etc., tal como se puede ver en la **figura 12.7**

Aislamiento del problema

Una vez localizada la etapa defectuosa dentro de la sección averiada, debemos aislar el problema propiamente dicho hasta encontrar él o los circuitos que lo están causando. En esta fase continuamos con el uso de los instrumentos de prueba y el análisis de sus resultados, debiendo llegar a la identificación exacta de la causa, bien sea por componentes defectuosos o por alguna conexión que se haya deteriorado. También se pueden encontrar daños físicos, como golpes, roturas, etc., tanto en componentes electrónicos como mecánicos.

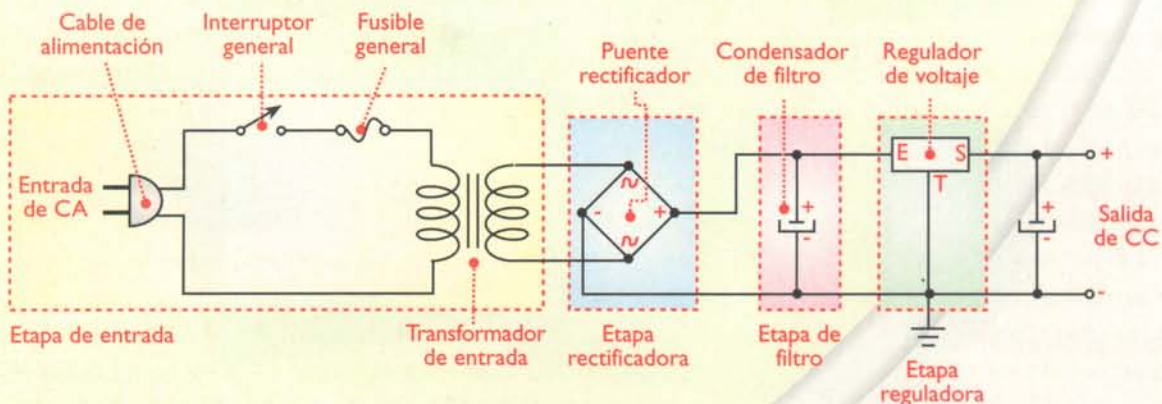


Figura 12.7. Identificación de la etapas de una fuente de poder (sección de un aparato)

Aspectos prácticos de las reparaciones en aparatos electrónicos

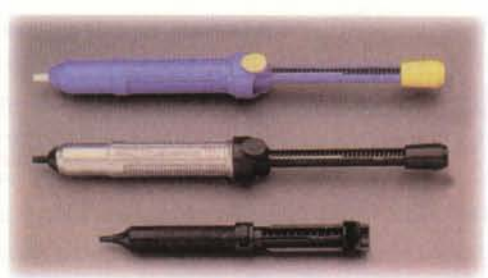
Una vez que hemos visto los conceptos básicos y la metodología general para las reparaciones, veamos ahora los aspectos prácticos y algunos ejemplos reales en aparatos sencillos, con el fin de pasar de la teoría a la práctica. Estudiaremos cómo se hacen las mediciones de algunos parámetros, como los voltajes y corrientes dentro de los circuitos y los aparatos, así como la prueba de componentes, la aplicación y lectura de señales, etc.

Herramientas para las reparaciones

Tal como lo vimos anteriormente, todo técnico en electrónica debe tener un conjunto mínimo de herramientas que le permitan hacer sus tareas en forma eficiente. Para las reparaciones este conjunto debe ser más amplio que en el caso del ensamblaje de circuitos sencillos, como los que hemos estudiado en la sección de proyectos. Por ejemplo, se requiere de un buen juego de destornilladores, de llaves de copa y de pinzas, cada uno con diferentes tipos y tamaños, o un juego completo, **figura 12.8**, con el fin de poder desarmar la gran variedad de aparatos que hay en el mercado, sin dañar los tornillos y otros elementos al utilizar la herramienta inadecuada.



Figura 12.8. Juegos de herramientas para diferentes tareas



Desoldadores manuales



Desoldador eléctrico

Figura 12.9. Herramientas para desoldar componentes en circuitos y aparatos electrónicos

También se requiere de un buen conjunto de herramientas para soldar y para desoldar, **figura 12.9**, quizás uno de los procedimientos más importantes en la tarea de las reparaciones. Más adelante explicaremos algunos procedimientos recomendados para desoldar componentes sin averiarlos.

Sobre los instrumentos necesarios, se requieren, en lo posible, por lo menos dos multímetros, uno análogo y uno digital, un generador de señales de audio y uno de RF, una buena fuente de poder con varios voltajes de salida, y, ojalá, un osciloscopio. Si se va a trabajar en la reparación de receptores de TV, videograbadoras y videocámaras, se requieren algunos generadores de señal e instrumentos apropiados para este tipo de aparatos, así como algunas herramientas especiales. Todos estos elementos, así como los materiales y los componentes de repuesto, deben estar bien or-



Figura 12.10. Cursos de reparación de aparatos electrónicos que ofrece CEKIT

ganizados y disponibles en un buen banco de trabajo, tal como los que vimos en una lección anterior de este mismo curso.

Por el momento, con los conocimientos adquiridos en este curso, se pueden reparar aparatos sencillos, como fuentes de poder, amplificadores de audio, alarmas, juegos de luces, etc. Para llegar a reparar otro tipo de aparatos diferentes a los mencionados, se deben estudiar, una vez terminado éste, otros cursos más avanzados como los que ofrece CEKIT, **figura 12.10**

La lámpara o tomacorriente en serie

Un elemento muy sencillo, pero de gran utilidad en todo tipo de reparaciones recibe el nombre popular de "la serie" o simplemente lámpara en serie, llamada así por su conexión, y la cual se debe incorporar en todo banco de trabajo. Como se puede observar en la **figura 12.11**, hay una lámpara o bombilla conectada en serie con la entrada de alimentación de corriente alterna (CA) y hay un tomacorriente para conectar los aparatos bajo prueba. Cuando se conecta un aparato que se alimente con CA, en este tomacorriente especial, la lámpara se enciende con una intensidad que depende del consumo de corriente del aparato, el cual varía dependiendo del tipo y modelo del mismo.

Si el aparato está en cortocircuito, la lámpara se encenderá totalmente indicando el estado defectuoso y además, protegerá al aparato, ya que, al estar en serie, todo el voltaje se aplicará a ella. Si la lámpara se ilumina con una buena intensidad en el momento de encender el aparato bajo prueba y luego la luminosidad se rebaja, indica que el aparato está en buenas condiciones desde el punto de vista de la fuente de poder y los consumos de corriente de los diferentes circuitos; temas estos que ampliaremos más adelante.

Procedimientos básicos de prueba

Como ya lo hemos mencionado, los procedimientos básicos de prueba consisten principalmente en la medida de voltajes y corrientes de CA y de CC en los diferentes circuitos y la aplicación de señales, ya sean análogas o digitales, en las entradas de las etapas, y su lectura en las salidas. Iniciemos la explicación de la parte práctica con una fuente de poder regulada de tipo lineal cuyo diagrama hemos visto anteriormente.

La importancia de aprender a reparar una fuente de poder radica en que la mayoría de los aparatos las incluyen como una de sus secciones y es una de las averías más comunes que se presentan. Hay dos tipos principales de fuentes de poder: las de tipo lineal y las de conmutación o *suicheo* (*switching regulator*). En este caso analizaremos las de tipo lineal por ser más simples y porque su teoría ya ha sido estudiada; las de conmutación no se tratan en este curso. Hay que tener en cuenta que

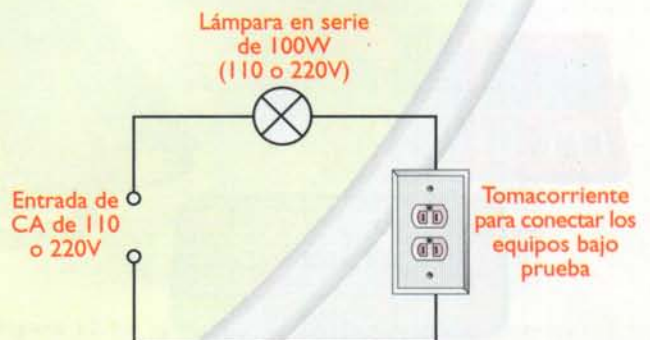


Figura 12.11. Diagrama esquemático de la lámpara en serie



Figura 12.12. Midiendo el voltaje de salida de CA en el secundario del transformador

estas fuentes lineales se encuentran en los aparatos que se alimentan con corriente alterna (CA), los aparatos que se alimentan con pilas o baterías generalmente no las incluyen. Finalmente es el técnico quien debe establecer si el aparato tiene una fuente de poder o no.

Se debe sospechar del daño en la fuente de poder cuando ninguna parte del aparato averiado da señales de vida, es decir, no se enciende ninguna lámpara indicadora (luz piloto, LED, etc.), no giran los motores, no han ningún sonido, etc.; en otras palabras en el lenguaje común se dice que el aparato está “muerto”.

Las fuentes de poder lineales pueden ser reguladas o no reguladas; estas últimas son las más utilizadas y el método de regulación, como ya lo vimos en la sección de Teoría, depende de los componentes y circuitos utilizados. Para este ejemplo veremos una fuente con un circuito integrado regulador de tres terminales, cuyo diagrama esquemático se presentó en la figura 12.7. En este caso trabajaremos sobre la fuente modelo K-025 de CEKIT que tiene la misma configuración. Aunque ésta es una fuente externa, el mismo circuito se puede encontrar en el interior de cualquier aparato.

Trabajo práctico de reparación

Lo primero que debemos hacer es verificar la salida de voltaje (CC) de la fuente. Si éste no

se encuentra presente en la salida, o es mucho más alto del esperado, ciertamente la fuente tiene una avería. Antes que todo debemos observar si hay un fusible en la salida de la fuente y verificar su estado; muchas veces se puede presentar un cortocircuito o un consumo excesivo de corriente en alguna de las secciones del aparato lo cual hace que éste se quemé. Si está averiado debemos reemplazarlo por uno similar, pero antes de volver a probar el aparato, éste se debe conectar en el tomacorriente en serie, ya que, si la anomalía persiste, hay que encontrar el problema, pues de lo contrario el fusible se seguirá quemando.

Si no hay un fusible en la salida de la fuente o está en buen estado, pasamos a medir la salida de voltaje (CA) en el secundario del transformador T1. Esto nos determinará si la avería está en la parte de la CA o en la parte de la CC. Éste debe ser más o menos de unos 9 voltios de CA, **figura 12.12**. Si hay voltaje, el problema está de ahí en adelante, si no lo hay, se debe buscar de ahí hacia atrás.

Veamos el primer caso: si el transformador T1 está entregando el voltaje correcto en el secundario, debemos medir ahora el voltaje de CC en la salida del puente rectificador BR1 que es el mismo voltaje que está presente en el condensador de filtro C1. Si hay voltaje, el cual debe

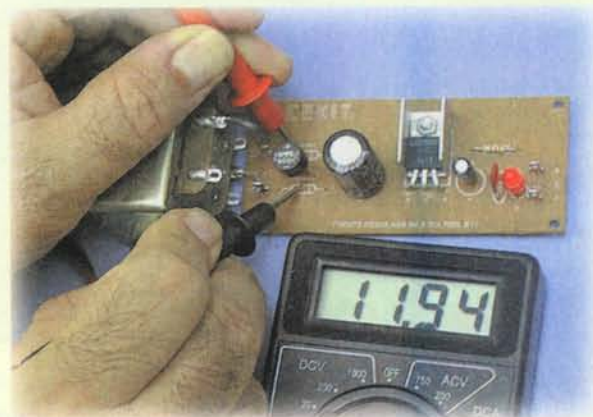


Figura 12.13. Midiendo el voltaje de CC en la salida del puente rectificador

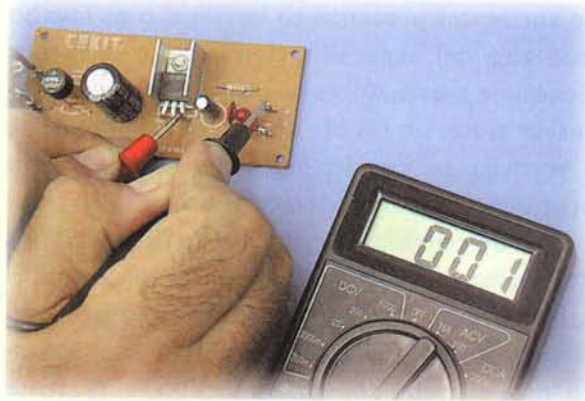


Figura 12.14. Verificando las conexiones entre la salida del regulador de voltaje y los terminales de salida

estar alrededor de los 12 voltios de CC, **figura 12.13**, el problema está en el regulador de voltaje o en sus conexiones, las cuales se pueden revisar con el multímetro teniendo la fuente o el aparato desconectado, **figura 12.14**. Si éstas se encuentran en buen estado, debemos retirar del circuito el regulador de voltaje y probarlo en forma independiente, **figura 12.15**. El regulador puede tener dos averías: o está en cortocircuito entregando en la salida el mismo voltaje de la entrada, o no entrega ningún voltaje. Si éste es el problema, lo debemos reemplazar por uno similar en cuanto a voltaje y corriente.

Si no hay voltaje de CC en la salida del puente rectificador, lo debemos retirar del circuito y revi-

sarlo en forma independiente (ver tema de prueba de diodos en la sección de Componentes), si se comprueba su mal estado, lo debemos reemplazar por uno nuevo o usado en buen estado, con las mismas características eléctricas.

Si el puente rectificador está bien, el problema puede ser que alguno de los condensadores, ya sea el de filtro (C1) o el condensador de salida (C2), esté en cortocircuito, una de las fallas más comunes en las fuentes de poder de este tipo. Si hay dudas sobre ellos, lo mejor es retirarlos del circuito y probarlos en forma individual.

Ahora veamos el segundo caso: no hay voltaje de CA en el secundario del transformador T1. Lo primero que debemos hacer es medir el voltaje de CA en el primario del transformador; éste debe ser más o menos de unos 110 o 220 voltios dependiendo del país en donde nos encontremos. Si al primario le llega voltaje de CA y no lo hay en el secundario, el problema está en el transformador, otro de los daños más comunes en este tipo de fuentes. Si no le llega voltaje al primario, la falla puede estar en el fusible, en el interruptor general, o en el cable de alimentación.

Con la fuente desconectada, proceda a revisarlos con el multímetro en la escala más baja de resistencia, o con un probador audible de continuidad, si lo tiene, **figura 12.16**



Figura 12.15. Verificando el regulador de voltaje en forma independiente. En este caso se aplica un voltaje de CC entre los terminales de entrada y tierra, y medimos el voltaje de salida

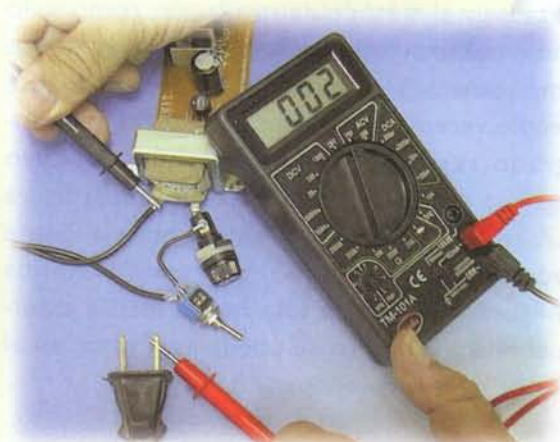


Figura 12.16. Verificando la continuidad de los elementos del circuito de entrada de CA (cable de alimentación, interruptor y fusible)

Cómo desoldar componentes electrónicos

Antes de continuar con el estudio de la reparación de aparatos electrónicos vamos a explicar algunas técnicas para desoldar componentes. En las reparaciones, aprender a desoldar correctamente todo tipo de componentes es uno de los aspectos clave para lograr un trabajo efectivo. En una práctica anterior ya habíamos explicado cómo soldar y esa técnica tiene que ver mucho con estos procedimientos. El proceso de desoldar puede ser mecánico o por medio de desoldadores eléctricos que incluyen una bomba de vacío y una herramienta que calienta la soldadura, tal como el que se mostró en la figura 12.9b. Esta herramienta es un poco costosa y no está al alcance de la mayoría de los técnicos por lo que dedicaremos un mayor espacio a la explicación de las técnicas mecánicas.

El procedimiento mecánicas para desoldar requiere de dos elementos: un cautín y un dispositivo para remover la soldadura. En cuanto al cautín, este debe ser pequeño, con una potencia entre 15W y 30W y del mismo tipo utilizado en el montaje de circuitos electrónicos. Por ningún motivo deben utilizarse pistolas para soldar en este proceso ya que el calor que éstas generan destruyen fácilmente las pistas de los circuitos impresos y los componentes, especialmente los semiconductores. En cuanto al dispositivo para remover la soldadura hay dos posibilidades: utilizar un desoldador mecánico (*solder sucker*), tal como los que se mostraron en la figura 12.9a, o utilizar una cinta especial de cobre trenzada llamada en inglés *solder wick*, **figura 12.17**. Esta cinta absorbe la soldadura y permite que se retire el ter-



Figura 12.17. Cinta para desoldar o solder wick



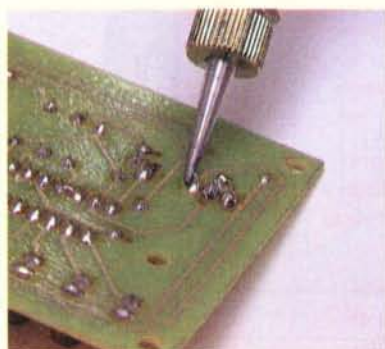
Figura 12.18. Estructura interna de un desoldador mecánico

minal del componente del circuito impreso, tal como lo explicaremos más adelante. El uso de una u otra técnica depende del gusto, las habilidades y la experiencia de cada persona y lo más recomendable es aprender a utilizar las dos ya que cada una puede tener una mejor aplicación dependiendo del tipo de componente que se vaya a desoldar.

Usando el desoldador mecánico

El desoldador mecánico es una pequeña bomba de vacío que incluye un tubo sellado, un pistón unido a una varilla delgada terminada en un botón para empujarlo, un resorte, un botón para liberar el pistón y una boquilla delgada de teflón en uno de los extremos, **figura 12.18**. Cuando se empuja el pistón, se comprime el aire en el tubo (cámara sellada) y cuando éste se suelta, se produce un efecto de vacío que se hace presente en la punta de la boquilla y absorbe la soldadura, la cual pasa a un depósito interno (tubo).

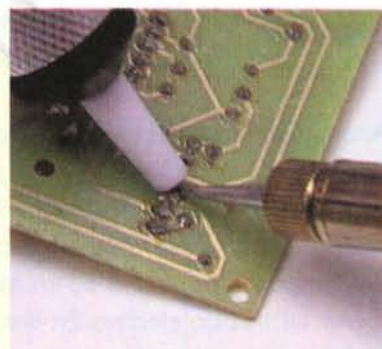
Para desoldar el terminal de un componente se debe primero calentar con el cautín el punto de la soldadura hasta que se derrita completamente,



1) Se calienta la soldadura con el cautín. Ésta debe quedar bien derretida



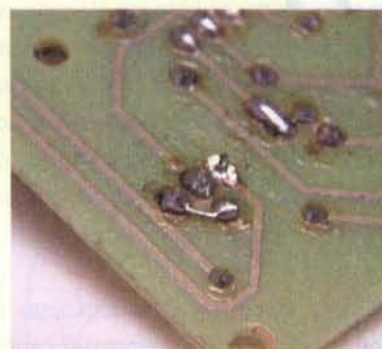
2) Se presiona el botón superior del desoldador hasta que el pistón quede asegurado



3) Se coloca la punta del desoldador sobre la soldadura caliente



4) Se presiona el botón inferior para liberar el pistón y producir el vacío



5) Aspecto de la soldadura retirada correctamente

Figura 12.19. Pasos para retirar una soldadura con un desoldador manual

luego se debe presionar el botón del desoldador hacia abajo hasta que éste quede asegurado, después, se coloca la punta del desoldador sobre la soldadura caliente y se presiona el botón de liberación. En ese momento la soldadura se debe aspirar hacia el tubo. En la **figura 12.19** podemos observar en detalle este procedimiento. La punta de estos desoldadores se va deteriorando y hay que cambiarla cuando su orificio se haya ampliado y ya no se pueda conseguir el vacío necesario para desoldar. Asimismo, hay que estar limpiando el interior del tubo, removiendo la tapa inferior, ya que allí se acumula la soldadura retirada.

Cinta de cobre trenzada para desoldar (solder wick)

Con esta técnica se debe calentar el punto de soldadura y aplicarle la cinta de cobre. Así la soldadura se pasa a la cinta retirándose del terminal del componente y del circuito impreso, **figura 12.20**. Esto ocurre debido a su construcción en forma trenzada lo que hace fluir fácilmente la soldadura derretida hacia ella. Cuando la cinta quede satura-

da de soldadura se debe cortar y repetir el procedimiento hasta que el punto quede limpio. Es una buena técnica utilizar primero la bomba de vacío manual y luego la cinta.

Desoldando circuitos integrados

Los componentes que presentan una mayor dificultad para ser desoldados son los circuitos integrados, en los cuales hay que remover muy bien la soldadura en cada uno de sus pines para poder

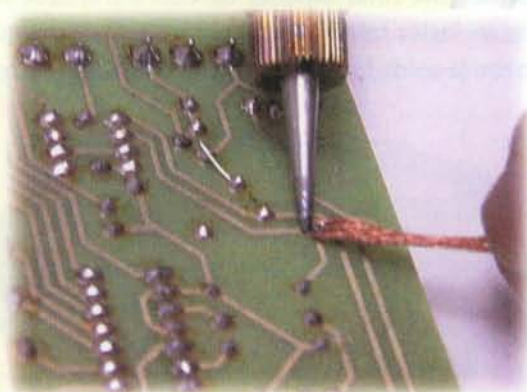


Figura 12.20. Retirando la soldadura con la cinta de cobre trenzada

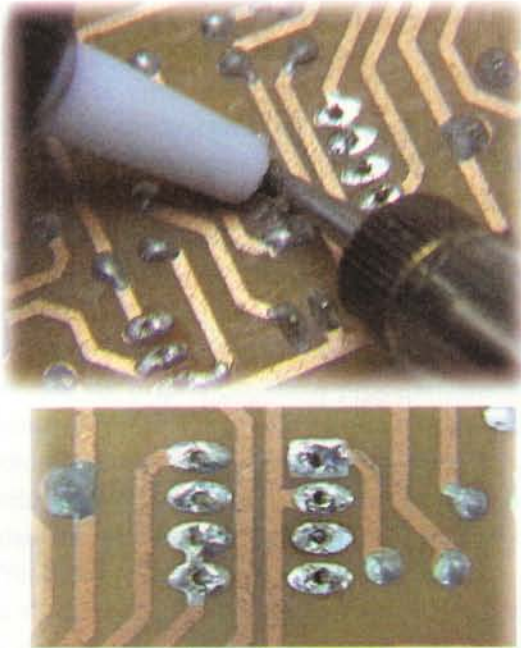


Figura 12.21. Desoldando un circuito integrado

retíralos completamente, tal como se muestra en la figura 12.21. Para desoldar los modernos circuitos integrados de montaje superficial (SMT) hay varias técnicas, las cuales no veremos en este curso pero que el alumno puede aprender en otros cursos o a través de la internet.

Reparación de un amplificador de audio

Continuando con las prácticas sobre las reparaciones de aparatos electrónicos, veremos ahora un ejemplo con otro de los aparatos en los cuales se presentan casos de averías con frecuencia y que se pueden resolver más o menos fácilmente; es el caso de los amplificadores de audio o de sonido los cuales se encuentran en la mayoría de los hogares.

Recordemos que un sistema de sonido está conformado por: el amplificador; las unidades de entrada, que pueden ser un reproductor de CD, un sintonizador o radio, un reproductor de cassetes, un reproductor de discos de acetato; y los parlantes o bafles, como unidades de salida. Actualmente muchos sistemas de sonido se encuentran en el mercado en forma integrada, dejando solo los parlantes como elementos externos. Para la

explicación de este procedimiento solamente hablaremos de la parte correspondiente: el amplificador de audio, una vez que se haya detectado que éste tenga problemas. Previamente se han verificado el funcionamiento de cada una de las unidades de entrada y de los parlantes.

Tomaremos como ejemplo el amplificador marca CEKIT referencia K-229, cuyo diagrama esquemático y de bloques, y la división en secciones, tal como lo establece la metodología sugerida para las reparaciones, se muestran en las figuras 12.22 y 12.23. Teniendo en cuenta esta metodología, recordemos que los pasos son: diagnóstico, localización de la falla, aislamiento de la misma y sustitución de los componentes averiados. El síntoma que presenta el amplificador es que no entrega ninguna señal en la salida, es decir, ningún sonido en los parlantes.

Lo primero que debemos hacer es comprobar el estado de la fuente de poder en la misma forma explicada en el ejemplo anterior. En este caso la fuente está trabajando correctamente. Luego debemos medir los voltajes de CC en cada una de las secciones, etapas y componentes, figura 12.24, con el fin de verificar que toda la polarización del amplificador esté presente. Estos sitios están marcados en el diagrama con puntos rojos pequeños.

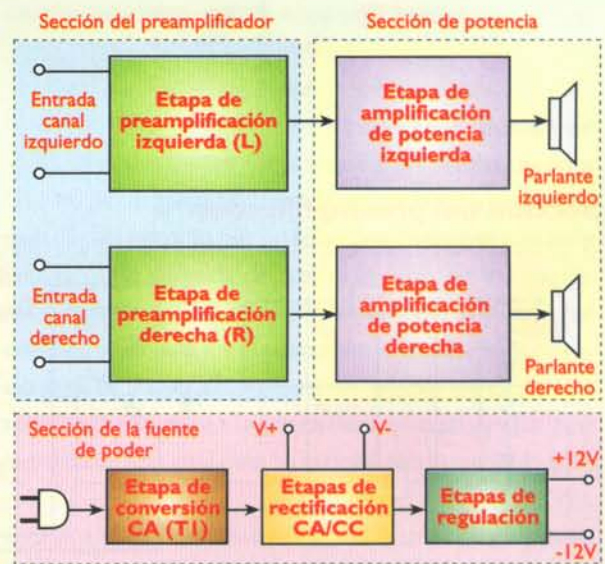
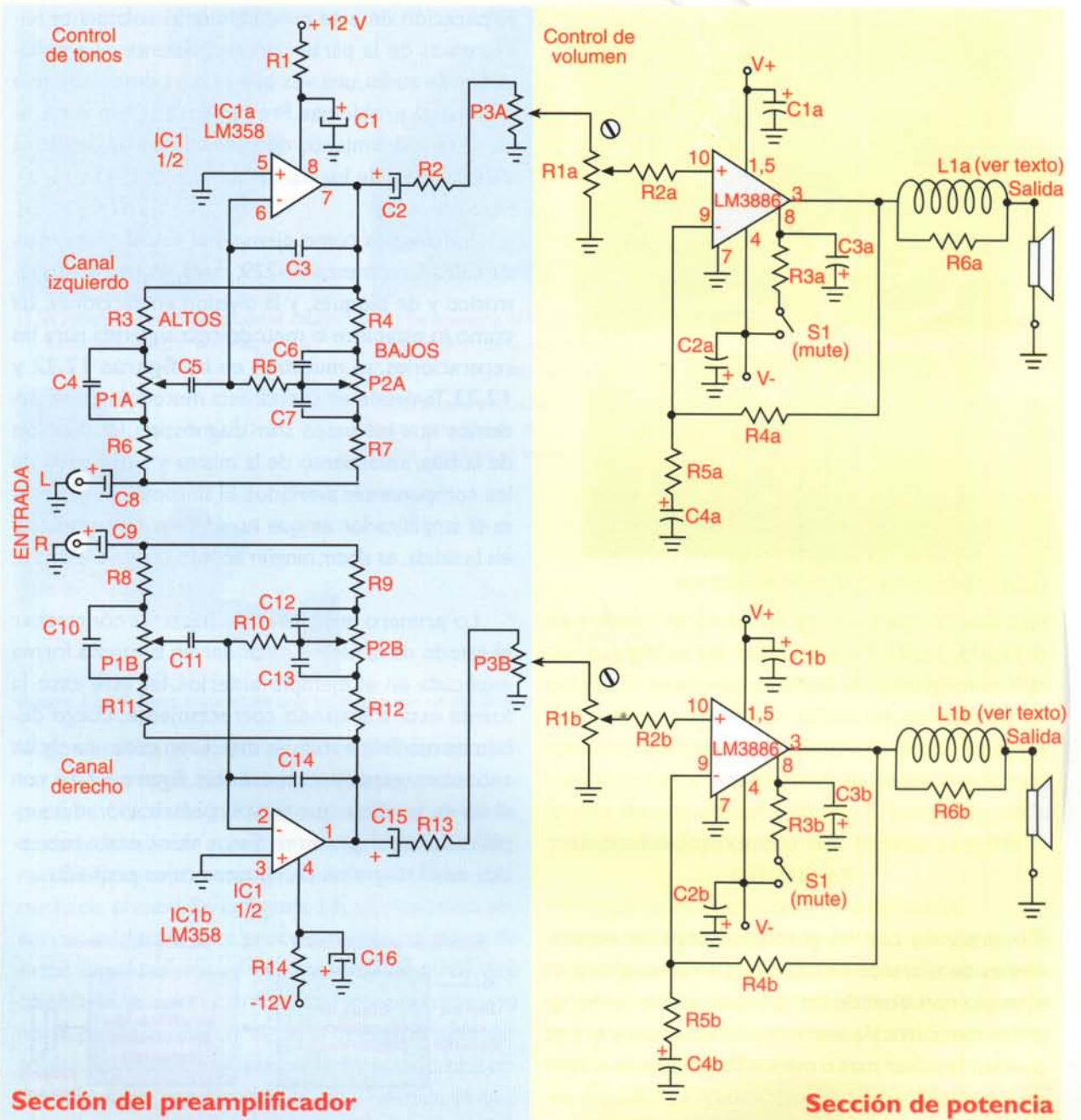


Figura 12.22. Diagrama de bloques del amplificador K-229 de CEKIT



Sección del preamplificador

Sección de potencia

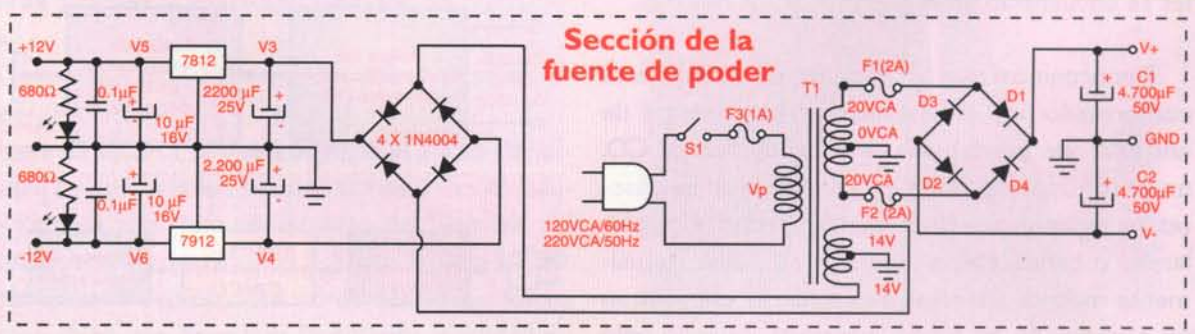


Figura 12.23. Diagrama esquemático del amplificador K-229 de CEKIT



Figura 12.24. Midiendo los voltajes de CC en diferentes puntos del aparato

Hay otro procedimiento muy importante en las reparaciones y es la medida de corrientes en CA y en CC. Esto nos puede informar si una determinada etapa o componente del aparato tiene problemas, los cuales se detectan observando que su consumo de corriente es mayor de lo normal. Para hacerlo, como lo vimos en las lecciones iniciales sobre el manejo de los instrumentos de medida, éste se debe conectar en serie. Por lo tanto, hay que desconectar la línea de alimentación de la etapa o el terminal del componente cuya corriente se va a medir.

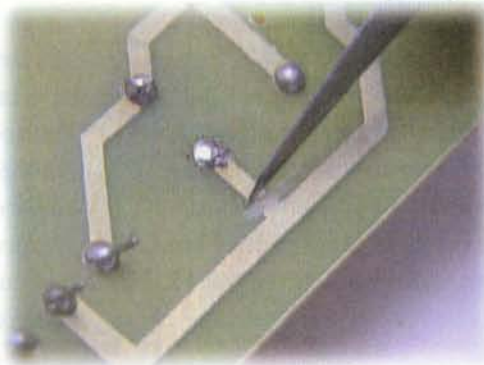


Figura 12.25a. Cortando un circuito impreso para medir corriente

En el primer caso, probablemente haya que hacer un pequeño corte en la pista del circuito impreso, **figura 12.25a**, el cual se debe restituir una vez se haya hecho la medición, y, en el segundo caso, se debe desoldar el terminal seleccionado para la medida, **figura 12.25b**. En nuestro ejemplo, medimos la corriente que consumen los circuitos integrados LM358 en el preamplificador y LM3886 en las etapas de potencia. En el diagrama esquemático están marcados con puntos azules pequeños. Si las corrientes medidas no indican nada anormal, debemos pasar al método de aplicación y lectura de señales.

Aplicación de señales de prueba

En los amplificadores de audio es ampliamente utilizada la técnica de aplicación de señales en la entrada de las diferentes etapas con el fin de establecer cuál es la sección o etapas defectuosas, tal como se indica en la **figura 12.26**. Para hacerlo hay diferentes métodos dependiendo de los instrumentos que se tengan disponibles. Los instrumentos utilizados para este procedimiento son: un generador de señales y un osciloscopio, como los que se mostraron en la figura 12.5 o similares. Si no se dispone de mucho presupuesto, podemos utilizar el inyector de señales K-068 de CEKIT. Inicialmente se aplica una señal de onda seno con una frecuencia de 1 KHz de atrás hacia adelante, etapa por etapa, con el fin de ir identificando el problema. Para utilizar este método debemos identificar en el diagrama cuál es la entrada y



Figura 12.25b. Desoldando el terminal de un componente para medir corriente

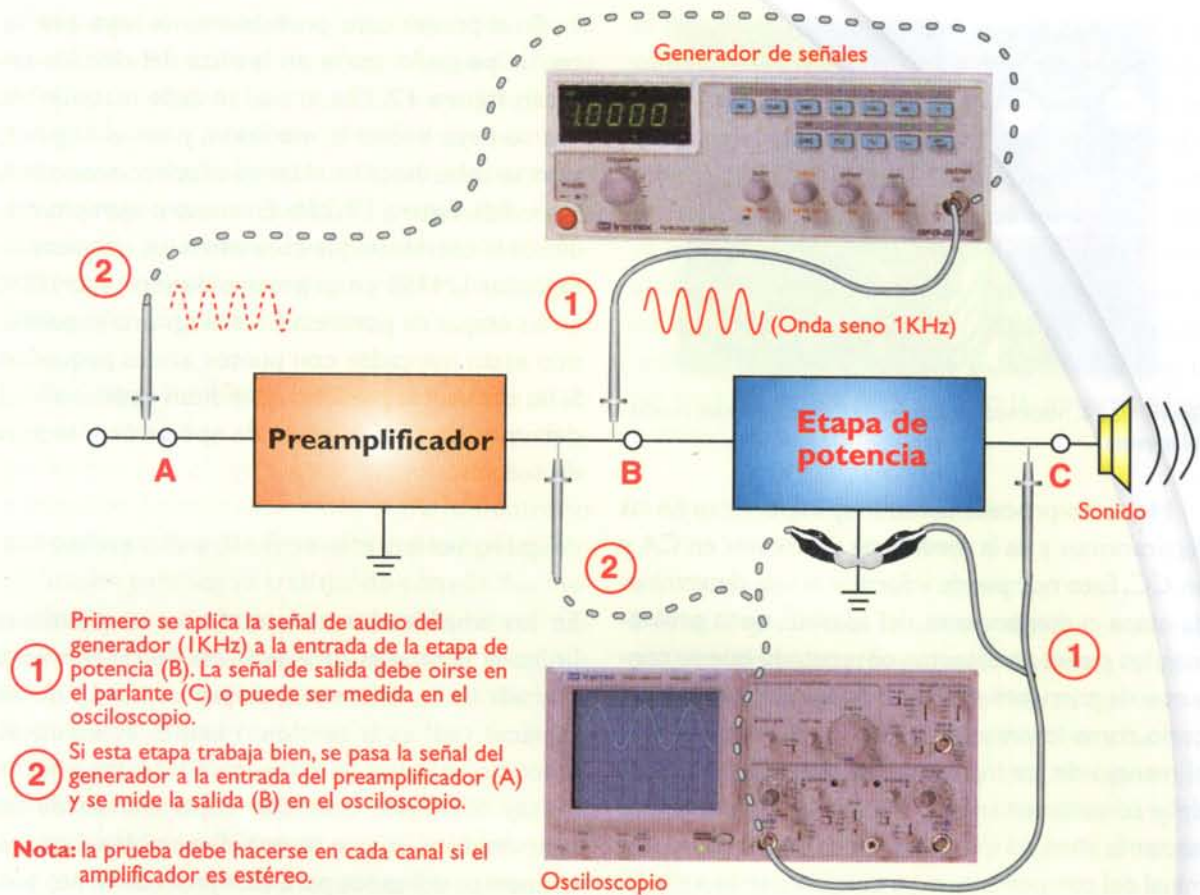


Figura 12.26. Método de aplicación de señales de prueba etapa por etapa en un amplificador de audio.

cuál es la salida de cada etapa. Siguiendo con la metodología, una vez que se haya identificado la etapa defectuosa, debemos localizar dentro de ella el componente o los componentes averiados. En este caso, siguiendo el circuito de ejemplo, se detecta que las dos etapas de potencia no responden a las señales aplicadas con el generador de señal. Midiendo los diferentes componentes

de estas etapas, se establece que las resistencias y los condensadores están buenos, y, por lo tanto, la principal sospecha recae sobre los circuitos integrados amplificadores de potencia (LM3886). Se encontró que los dos estaban averiados y como éstos no se pueden probar internamente, procedemos a cambiarlos, figura 12.27, con lo cual el amplificador vuelve a trabajar correctamente.



Figura 12.27. Cambiando los circuitos integrados de potencia

Lección 13

Información sobre electrónica en la internet

Actualmente, la internet es una de las mejores o quizás la mejor fuente de información para estudiantes, técnicos y profesionales de la electrónica, ya que en ella podemos encontrar en forma casi instantánea, y muchas veces sin ningún costo, todo tipo de datos técnicos, históricos, cursos, proyectos, actividades prácticas, noticias sobre nuevos productos, proveedores de componentes, etc. Sin embargo, es tanta la información que si no la buscamos y utilizamos correcta y ordenadamente, nos podemos confundir con ella y muchas veces desperdiciarla. En esta lección veremos algunos de los temas más importantes que podemos buscar y cómo ir guardándolos en forma clasificada.



Analizando el desarrollo de la electrónica desde sus inicios en los primeros años del siglo XX hasta la fecha, concluimos fácilmente que la información generada durante todos estos años es realmente extensa y variada. Podríamos decir, sin temor a equivocarnos, que es la tecnología que más información ha generado la cual ha sido plasmada inicialmente en libros y revistas y ahora en videos, discos tipo CD y en la internet.

Por otro lado, esta tecnología también es la que más rápido se desarrolla, evoluciona y cambia, lo que nos obliga a estar estudiando e informándonos permanentemente o de lo contrario nos podemos quedar atrasados y tener pocas posibilidades para seguir trabajando con ella. Y la mejor forma para hacerlo es a través de la internet ya que los libros son costosos y cuando se imprimen y llegan a nuestras manos, ya ha pasado un buen tiempo desde su creación. Esto no quiere decir que no debemos tener libros y revistas; todo electrónico que se aprecie y respete debe poseer una buena biblioteca con libros bien elegidos y cursos como éste, y una o varias suscripciones a revistas, entre ellas Electrónica y Computadores de CEKIT, **figura 13.1**

Para la búsqueda y recopilación de información en la internet lógicamente debemos tener acceso a una computadora con conexión a la red y los programas de navegación (Netscape o Microsoft Explorer), preferiblemente en nuestro hogar o en un sitio que podamos visitar con frecuencia, como



Figura 13.1.

el colegio, la universidad, un centro comunal o un café internet, entre otros. En este momento suponemos que el lector está familiarizado con el uso de esta tecnología y por lo tanto no nos detendremos en su explicación. Si no la conoce o no la sabe utilizar, le recomendamos que lo haga ahora mismo ya que es la herramienta más valiosa para estar actualizados y seguir estudiando en forma permanente. Lo puede hacer por medio de un libro, una revista, un curso presencial o a distancia, con un pariente, un amigo, en el colegio, la universidad o la empresa donde trabaja.

Qué podemos encontrar en la internet

Debido a su estrecha relación y afinidad con la tecnología informática, base fundamental de la internet, la electrónica es uno de los temas que más se han llevado a la red. Prácticamente todas las entidades y empresas relacionadas con la electrónica, desde las más pequeñas y remotas hasta las grandes multinacionales, tienen una página o sitio web en funcionamiento.

Éstas se encuentran en muchas presentaciones, desde páginas muy simples de aficionados, una gran variedad de cursos de institutos y universidades, todo tipo de publicaciones, hasta los datos técnicos y comerciales de los principales fabricantes tanto de componentes como de productos terminados.

¿Cómo acceder entonces ante tal volumen de información? La forma más directa es escribiendo en la ventana correspondiente en el navegador la dirección URL de algunos sitios ya conocidos, las cuales se publican en revistas y periódicos como elemento publicitario o como enlaces (*links*) en otras páginas web. Por ejemplo: www.cekit.com.co, www.magomelectronica.com.co, etc. En la revista Electrónica & Computadores de CEKIT, que circula mensualmente, publicamos en la sección Rutas y Lugares varias direcciones que contienen información valiosa y muy actualizada sobre diferentes temas de la electrónica.



Figura 13.2. Palabra clave para la búsqueda



Figura 13.3. Lista de sitios encontrados

La otra forma es utilizar las máquinas de búsqueda (search engine) como: www.google.com, www.altavista.com, www.metacrawler.com, etc. o los grandes sitios de información general clasificada como www.yahoo.com. En un buscador, basta con escribir en la ventana en blanco que tiene disponible para tal fin la palabra o palabras clave que se quieren buscar, figura 13.2, y aparece una lista, figura 13.3, con muchas opciones, las cuales se deben ir mirando para determinar si la información es lo que necesitamos o no. Para ir a cada página simplemente hacemos clic en cada una de ellas, o en las que nos interesen, según el título o encabezado.

La calidad o acierto de la búsqueda depende en muy buena parte de la o las palabras que escribamos para ella. Hay diferentes técnicas para buscar la información, desde las más simples hasta las llamadas «avanzadas», las cuales le recomendamos que aprenda con el fin de que pueda lograr los mejores resultados posibles. Una mala búsqueda puede entregar como resultado una muy poca o nula información, hasta una cantidad tal de páginas que no sabremos por donde empezar.

La búsqueda se puede hacer en inglés o en español para lo cual escribimos el tema que queremos buscar. Por ejemplo, si escribimos en la ventana del buscador «Electrónica básica», aparecen los temas tal como se muestra en la figura 13.4; y si escribimos «Basic electronics» aparecen las páginas tal como se muestra en la figura 13.5

Con la práctica y una buena observación, se van desarrollando habilidades que mejoran esta técnica, lo cual depende del interés y la dedicación de cada persona.

Existe otro tipo de páginas tal como www.epanorama.net, figura 13.6, que contienen una lista por temas y, luego de seleccionar uno de ellos, aparecen varias opciones para visitar. Estos sitios los iremos encontrando a medida que hagamos continuamente búsquedas y los debemos registrar ya sea por medio del navegador (bookmarks o favoritos) o anotarlo para nuestra referencia.



Figura 13.4. Búsqueda en español



Figura 13.5. Búsqueda en inglés

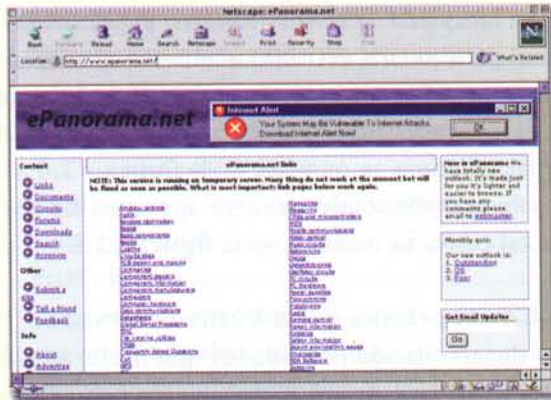


Figura 13.6. www.epanorama.net (Listado alfabético por temas)

Búsqueda en la internet

Como ya lo mencionamos, es tanta la información disponible que hay que aprender a buscar lo que necesitamos. Si queremos conocer información general sobre ciertos componentes electrónicos simplemente escribimos su nombre, por ejemplo, «Resistencias», o «Resistores», o «Resistors». Igual se puede hacer con «Condensadores», «Bobinas», «Circuitos integrados», o si se quiere algo más específico, podría escribirse «Bobinas toroidales».

En cuanto a la teoría de circuitos podemos buscar: «Amplificadores con transistores», «Fuentes de poder», «Oscilators», «FM transmitters», etc. En muchas de estas búsquedas seguramente aparecerán los principales fabricantes y distribuidores de estos componentes o aparatos, lo cual también es muy útil ir conociendo. Otras de las páginas y quizás las que más nos interesan en muchas ocasiones, son las de proyectos en donde aparecen los diagramas esquemáticos o planos de todo tipo de circuitos y aparatos, incluyendo muchas veces el diseño del circuito impreso. Si escribimos en la ventana de búsqueda: «Proyectos electrónicos», «Electronic projects», «Electrónica práctica», «Practical electronics», etc. aparecen muchos sitios web con esta información.

Otro tipo de contenido muy útil e interesante es el que brindan los fabricantes de semiconductores, especialmente de circuitos integrados, ya que en sus páginas se publica toda la informa-

ción correspondiente a sus diagramas de pines, sus funciones, sus características eléctricas y otra información, generalmente en formato pdf, para ser leída por el programa Acrobat Reader de Adobe Systems. Esta información recibe el nombre de Hojas de datos (*Data sheet*). También en la mayoría de estos sitios web se encuentra una serie de Notas de Aplicación (*Application Notes*), en las cuales se muestran los diferentes circuitos que utilizan los circuitos integrados de estas empresas.

Cómo guardar la información obtenida en la internet

Tan importante como la búsqueda de la información es tener un método para guardarla en forma ordenada, de tal forma que la podamos encontrar y consultar posteriormente. Lo más aconsejable es ir abriendo carpetas y subcarpetas (directorios y subdirectorios) en el disco duro de la computadora, con nombres clasificados por los diferentes temas tales como: componentes, teoría, proyectos, fabricantes, etc. o para que cada persona, de acuerdo a su criterio, pueda identificar fácilmente su información. Ésta debe ser guardada cada cierto período de tiempo (*backup*) en la forma más segura, preferiblemente en discos compactos tipo CD-ROM.

La información puede guardarse con la forma de la página web original (formato HTML), incluyendo las figuras; en forma de textos, o preferiblemente en formato pdf, cuando el archivo esté disponible en esa forma. Las páginas web también se pueden ir imprimiendo y guardando en forma ordenada y clasificadas por temas para su posterior consulta.

Terminamos así esta sección de Electrónica Práctica en la cual hemos visto una serie de temas relacionados estrechamente con la teoría estudiada y que complementan los proyectos, para lograr así un conjunto de conocimientos sobre electrónica básica que esperamos les sean de mucha utilidad en sus propósitos educativos.

Índice Electrónica práctica

Lección 1. Las herramientas en electrónica 1

El destornillador	2
Cuidados con los destornilladores	3
Las pinzas	3
Cuidados con las pinzas	4
Las llaves	5
Cuidados con el uso de las llaves	6
Sierra de arco o segueta	6
Cuidados con la sierra de arco	6
Brocas o mechas	6
Cuidados con las brocas	7
El taladro manual	7
Cuidados con los taladros	7
Limas	7
Cuidados con las limas	8
Calibrador	8
El soldador eléctrico o cautín	8

Lección 2. Los instrumentos básicos para mediciones eléctricas 9

Introducción	10
El instrumento básico para medir	10
Clasificación de los aparatos para medida	11
El amperímetro	12
Partes de un amperímetro con indicador de aguja	13
Medición de intensidad	13
¿Qué significa conectar el amperímetro en serie?	15
Precauciones y medidas de seguridad con el amperímetro	15
Instrumentos para medir corriente alterna	16
El voltímetro	17
El voltímetro de corriente continua	18
El voltímetro de escalas múltiples	18
Medida de un voltaje	20
El voltímetro de corriente alterna	21
El óhmetro	21
Midiendo resistencias	22
Midiendo continuidad	23
Midiendo fugas de aislamiento o contacto a tierra ...	24

Lección 3. El multímetro 25

Introducción	26
El multímetro análogo	26
Cuidados con el multímetro	28
Funcionamiento del multímetro análogo	29
Funcionamiento como óhmetro	29

Medida de continuidad	29
Medida de resistencia	30
Funcionamiento como voltímetro para corriente continua (CC)	31
Funcionamiento como voltímetro para corriente alterna (CA)	31
Funcionamiento como amperímetro para medida de intensidad en CC	32
El multímetro digital	33
Precauciones con los multímetros digitales	33
Funcionamiento y operación del multímetro digital ...	34
Funcionamiento como óhmetro	34
Medida de continuidad	35
Funcionamiento como voltímetro para corriente continua (DCV)	35
Funcionamiento como voltímetro para corriente alterna (ACV)	35
Funcionamiento como amperímetro para corriente continua (DCA)	36
Otras funciones	36

Lección 4. El tablero para prototipos (protoboard) 37

Estructura del <i>protoboard</i>	38
Recomendaciones para armar circuitos en un <i>protoboard</i>	39
Ensamblaje de circuitos en un <i>protoboard</i>	41

Lección 5. Diseño y fabricación de circuitos impresos 43

¿Qué es diseñar un circuito impreso?	44
Pasos para la elaboración de un circuito impreso	44
Técnicas para el diseño de circuitos impresos	46
Diseño manual	46
Diseño manual con dibujo por computadora	46
Diseño por computadora o CAD	47
Diseño manual de circuitos impresos	47
Diseño del circuito impreso	48
Los puntos de soldadura	48
Conocimiento de los componentes electrónicos	49
Medidas de los componentes	49
Trazado de las líneas	50
Primeros pasos para el diseño	50
Componentes externos	50
Cómo empezar	51
Ejemplo del diseño manual de un circuito impreso	51



Introducción

Introducción a los proyectos

Sea cual sea la actividad que usted desarrolle, no podrá aprenderla sin el ejercicio de la práctica. Nadie aprende a caminar, si no se pone en pie e intenta dar el primer paso. En electrónica sucede lo mismo, nadie puede aprenderla si no va mas allá de la teoría y se arriesga a elaborar un proyecto. Ésta constituye una de las actividades más importantes, atractivas, provechosas y satisfactorias en el estudio de la electrónica.

Con la fabricación de proyectos usted tendrá la oportunidad de poner en práctica los conceptos teóricos aprendidos en el desarrollo del curso, podrá trabajar con los dispositivos reales empleados en esta apasionante tecnología y obtendrá una gran satisfacción al ver culminado exitosamente su trabajo.



4. ¿Poseo los equipos y herramientas necesarios para trabajar?

Para la fabricación de un proyecto electrónico no es necesario una gran cantidad de herramientas, ni herramientas especiales, ni procesos peligrosos, ni cualquier equipo que no pueda adquirirse fácilmente en una tienda especializada. En la sección de **ELECTRÓNICA PRÁCTICA**, estudiaremos las herramientas y los equipos necesarios para el ensamblaje de los proyectos electrónicos de este curso.

5. ¿Cuánto debo invertir en dinero y en tiempo?

Es importante además calcular cuánto dinero y tiempo debe invertir en el proyecto; pues de no ser así, después de iniciado el trabajo, puede darse cuenta que es más costoso de lo que puede o está dispuesto a pagar. Hoy en día, se encuentran un gran número de proyectos listos para ser ensamblados, que se consiguen comercialmente con el nombre de **KITS**.



Herramientas básicas para el trabajo electrónico

Además, para cada uno de los proyectos que usted construirá a lo largo del curso, especificaremos el tiempo estimado de trabajo en horas y el costo del proyecto mediante las siguientes convenciones:

Bajo: ✿
Medio: ✿ ✿
Alto: ✿ ✿ ✿

Los kits

Un kit, en general, es un conjunto de piezas con las cuales se puede armar o construir algo siguiendo un plano y las instrucciones del fabricante. En el caso de la electrónica, un kit es el conjunto de componentes e instrucciones necesarias para ensamblar un proyecto o aparato electrónico completo. Debe incluir el circuito impreso, los componentes electrónicos, el diagrama esquemático y un manual de instrucciones que explica y muestra como se ensambla y se prueba el proyecto.



Kits electrónicos

Los fenómenos físicos que rigen nuestro mundo, al igual que otras magnitudes, pueden ser cuantificados, ya sea para un estudio profundo de los mismos o para ser empleados como elementos de control. La luz y la temperatura han sido tal vez las magnitudes físicas que con mayor frecuencia se emplean con este fin. Para cumplir con este objetivo, es necesario emplear un elemento capaz de convertir dichas magnitudes en una señal eléctrica que pueda ser manejada por un circuito. Dichos elementos reciben el nombre de **transductores** y pueden ser de muchas clases dependiendo del tipo de tarea para la cual han sido diseñados.

En el proyecto que usted construirá en esta ocasión necesita un elemento que le permita medir, o por lo menos diferenciar, entre una mayor o menor cantidad de luz; para tal efecto se recomienda

el uso de una fotocelda pues en ésta el valor de la resistencia medida entre sus terminales varía de acuerdo a la cantidad de luz que incida sobre ella.

Este sencillo circuito puede tener múltiples aplicaciones, entre ellas podemos contar con el encendido de lámparas cuando se hace de noche, empleando el contacto normalmente abierto del relé para ello. Si en lugar de éste empleamos el contacto normalmente cerrado, y en él conectamos una sirena u otro elemento generador de sonido tal como una radio, tendremos un sencillo despertador que permanecerá apagado mientras la fotocelda no esté recibiendo luz. Esta configuración requiere un alto consumo de energía. Para evitar esto, basta intercambiar la posición de la fotocelda y el potenciómetro en el circuito.

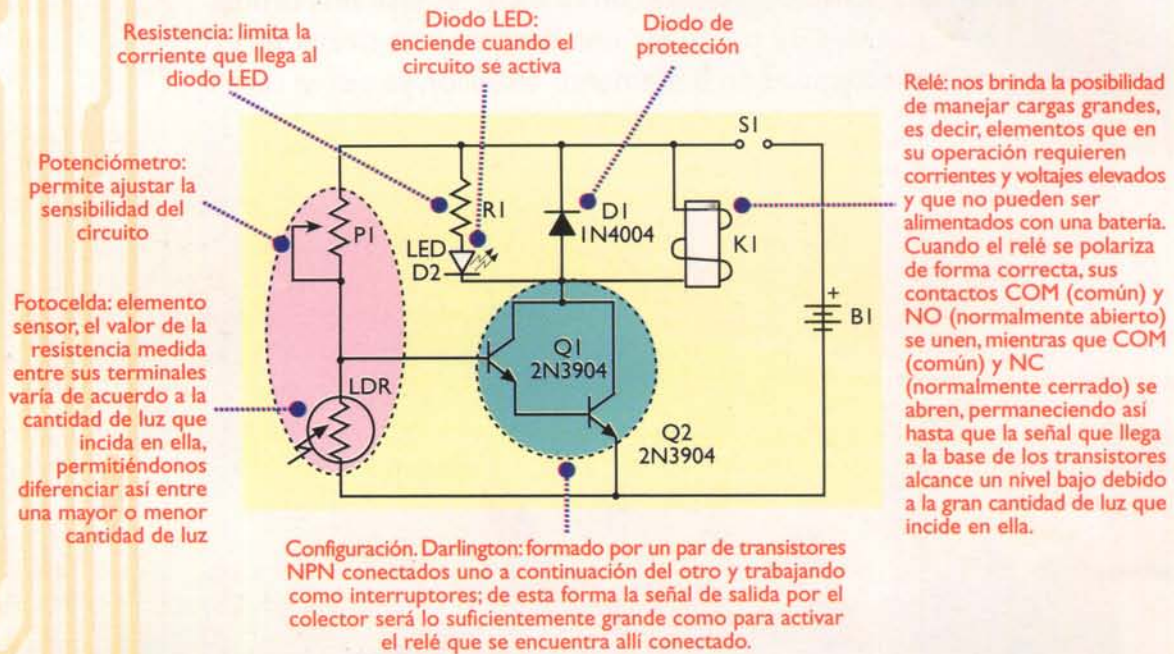


Figura 1.1. Diagrama esquemático del circuito

El circuito está conformado esencialmente por un par de transistores en configuración Darlington polarizados como interruptores, los cuales, al recibir una señal alta en la base debido a la poca luz que cae sobre la fotocelda, ponen un nivel bajo en su colector polarizando el relé en forma correcta y permaneciendo así hasta que la señal que llega a la base alcance un nivel bajo debido a la gran cantidad de luz que incide en ella.

Nota: este mismo circuito puede ser empleado para medir la temperatura y controlar el enfriamiento o calentamiento de lugares cerrados, basta con reemplazar la fotocelda por un termistor, el cual se comporta de la misma manera que ésta variando la resistencia entre sus terminales de acuerdo a la temperatura. Para ello debemos tener en cuenta las mismas consideraciones que con la fotocelda.



Antes de empezar a ensamblar el circuito, usted debe estar seguro de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta. De esta forma el trabajo se hace más rápido.

Lista de materiales

1. 2 Transistores NPN 2N3904 o similares (Q1 y Q2)
2. 1 Resistencia de $1K\Omega$ 1/4W (R1)
3. 1 Diodo LED (LED 1)
4. 1 Potenciómetro de $100K\Omega$ (P1)
5. 1 Fococelda (LDR)
6. 1 Interruptor de dos posiciones (S1)
7. 1 Diodo 1N4004 (D1)
8. 1 Relé de 12V (K1)
9. 4 Espadines
10. 1 Conector de tornillo de 3 pines (J2)
11. 1 Conector de tornillo de 2 pines (J1)
12. 1 Circuito impreso EF-01
13. 1m de soldadura

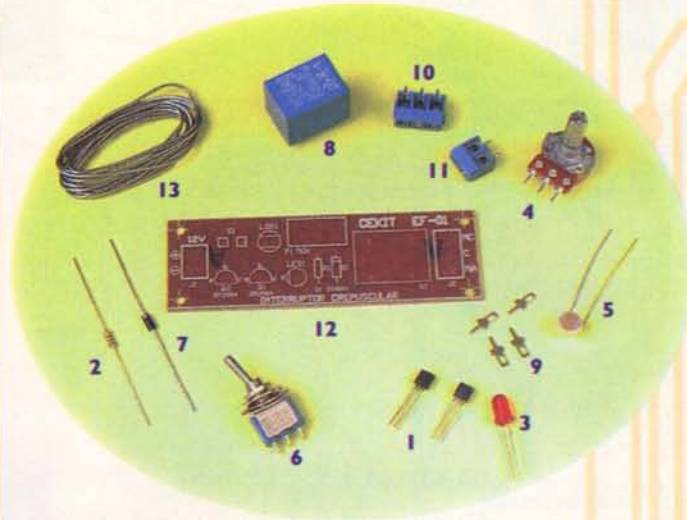


Figura 1.2. Componentes que conforman el Kit

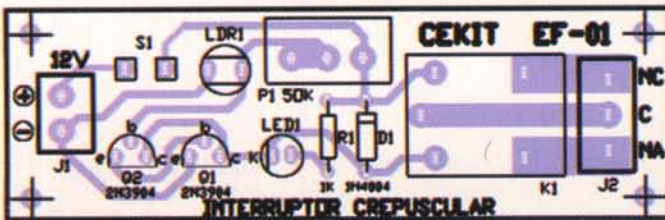
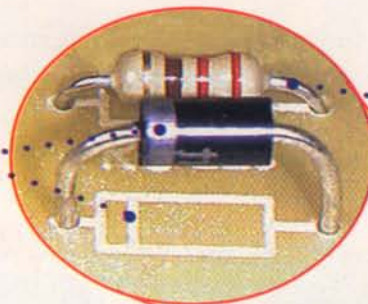


Figura 1.3. Guía de ensamblaje y circuito impreso

El interruptor crepuscular se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-01, en el cual se indican la posición de los componentes, se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación y los contactos del relé de salida. Tenga mucho cuidado en ubicar los componentes en la forma correcta, especialmente el diodo, ya que una equivocación puede causar un mal funcionamiento del circuito.

Asegúrese que la banda plateada del diodo quede orientada en la misma dirección que la del dibujo.



Deje descansar completamente las resistencias sobre la placa de circuito impreso. Cuando doble los terminales no lo haga formando una esquina sino formado un arco.

Figura 1.4. El ensamblaje de la tarjeta es muy sencillo, ponga especial cuidado al momento de soldar.

Primero se deben soldar los componentes de menor altura como son la resistencia R1 y el diodo D1.





Espadín



Asegúrese de que el lado plano quede junto a la línea recta que aparece en la tarjeta de circuito impreso.

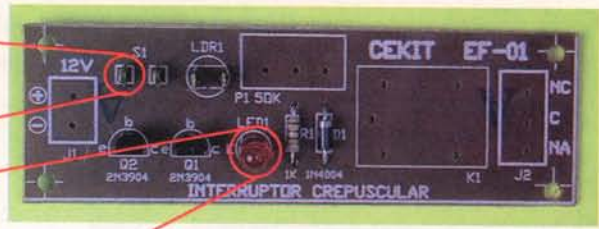
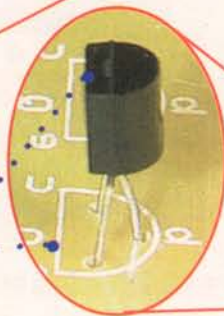


Figura 1.5. Luego suelde los transistores y el diodo LED. En aquellos puntos donde se conectan componentes que pueden ser ubicados en el chasis y conectados mediante cables, se deben colocar espadines para así facilitar la soldadura de los mismos.

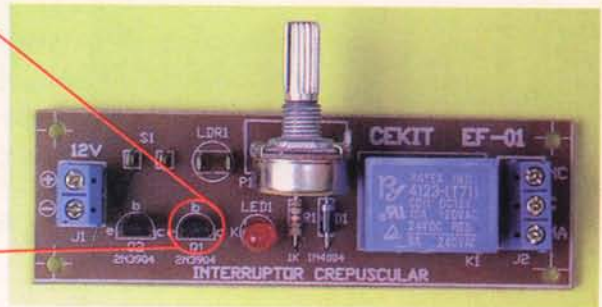


Figura 1.6. Seguidamente suelde los componentes de mayor altura como son los conectores de 2 y de 3 tornillos, el potenciómetro y el relé.



Figura 1.7. Por último, sitúe sobre los espadines el interruptor de dos posiciones S1 y la fotocelda LDR. Al finalizar es recomendable hacer una limpieza de la tarjeta por el lado de las soldaduras con un poco de alcohol y un cepillo de dientes para remover posibles residuos.

Cuando esté seguro de que ha hecho todo el montaje correctamente, conecte la fuente de alimentación de 12V. Luego, dirija el sensor hacia un rayo luminoso proveniente, por ejemplo, de una linterna. Interrumpa con la mano el rayo de luz, en ese momento debe escuchar como se cierran los contactos del relé. De no ser así ajuste el control de sensibilidad hasta escucharlo. Si ha instalado un control de temperatura, acerque al termistor (sin tocarlo) un cautín caliente hasta escuchar que se activa el relé; de la misma forma que con la fotocelda, usted puede ajustar por medio de PI la sensibilidad del circuito.

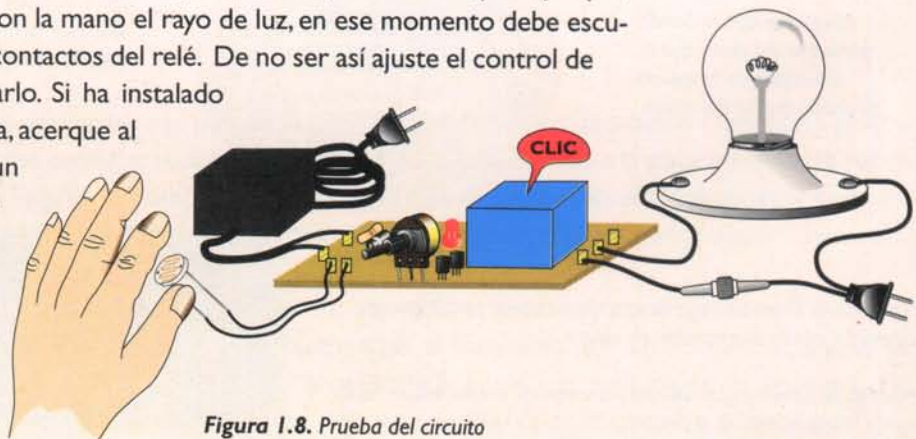


Figura 1.8. Prueba del circuito



Proyecto 2

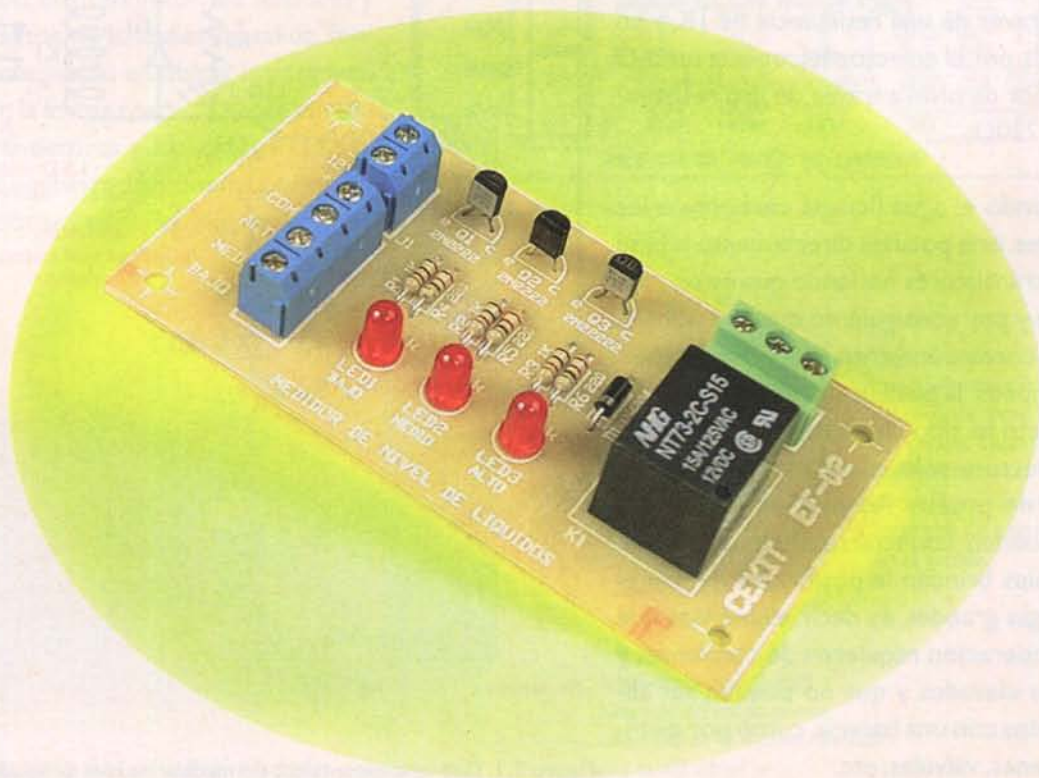
Medidor de nivel de líquidos

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

La electrónica se ha incorporado poco a poco en nuestra vida cotidiana; sus aplicaciones van desde simples pruebas de laboratorio, hasta la cuantificación y control de procesos, aún de aquellos que no tienen ninguna relación con la electrónica. Este sencillo circuito le permitirá conocer el nivel del líquido contenido dentro de un recipiente sin importar su tamaño, el cual puede variar desde un pequeño vaso, hasta un tanque de grandes dimensiones. El nivel del líquido se muestra en forma visual por medio de una barra de diodos LED que puede ser ampliada de acuerdo a la exactitud requerida en la medición.



En este proyecto se aprovecha la cualidad del agua para conducir la electricidad, poniendo dentro del recipiente los elementos sensores que serán los encargados de medir el nivel de llenado del mismo y que deben ser instalados de forma tal que muestren cuándo el líquido se encuentra al nivel máximo, en un nivel intermedio, o en un nivel bajo; para tal efecto han sido colocados uno en el fondo, otro en el medio y otro en el borde máximo superior del recipiente. Además, debe ponerse en la base del recipiente un elemento común a todos los sensores, que es quien lleva la señal que será conducida a través del líquido y posteriormente visualizada, indicando el nivel de llenado.

Si desea una mayor precisión en la medida del llenado de un recipiente, por ejemplo el 10%, el 25%, o el 75% de su capacidad, puede hacerlo fácilmente, implantando para cada uno de estos puntos una etapa igual a las que conforman el circuito anterior.

PRECAUCIÓN: este circuito, aunque puede ser empleado para medir diversos tipos de líquidos, no debe ser utilizado con líquidos inflamables, ni combustibles.

Teoría de funcionamiento

El circuito está conformado esencialmente por tres etapas iguales. Cada una de ellas está conformada por un transistor NPN, configurado como interruptor, en cuya base se conecta la señal proveniente de un sensor a través de una resistencia de 1K, y en su salida, por el colector, se conecta un LED indicador de nivel a través de una resistencia de 220Ω.

Cuando el agua lleva la corriente a los sensores, ésta polariza directamente la base de los transistores haciendo que éstos conduzcan y por consiguiente que se encienda el LED correspondiente. Para ahorrar energía e impedir la posible electrólisis del agua, el circuito ha sido diseñado para que muestre la lectura sólo cuando se presiona un botón de prueba. Además de los diodos LED, pueden conectarse al circuito relés, los cuales brindan la posibilidad de manejar cargas grandes, es decir, elementos que en su operación requieren de corrientes y voltajes elevados y que no pueden ser alimentados con una batería, como por ejemplo sirenas, válvulas, etc.

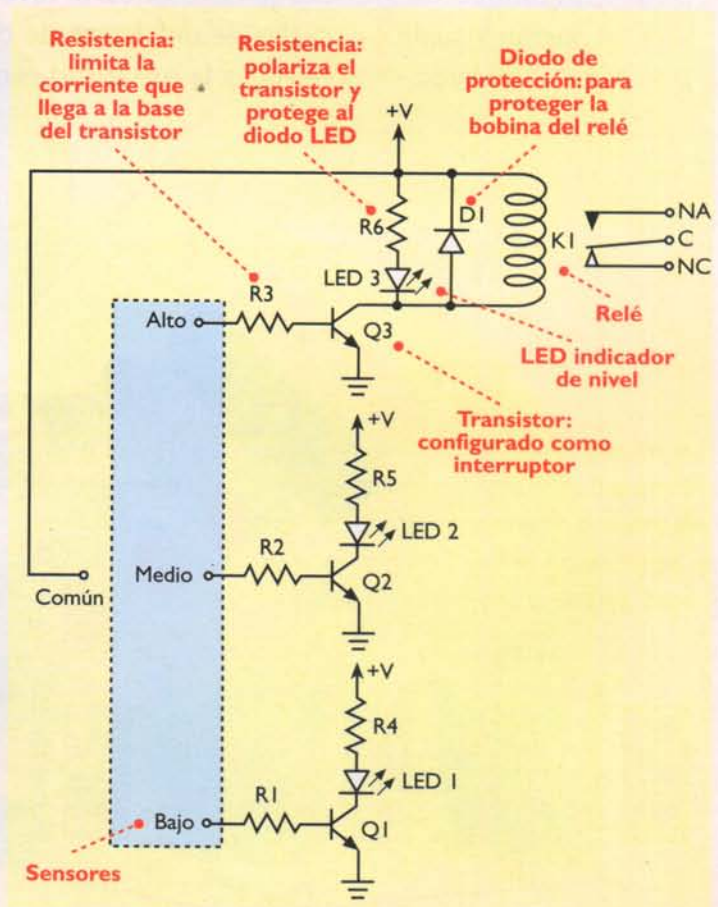


Figura 2.1. Diagrama esquemático del medidor de nivel de líquidos



Antes de empezar a ensamblar el circuito, debe estar seguro de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta. De esta forma el trabajo se hace más rápido.

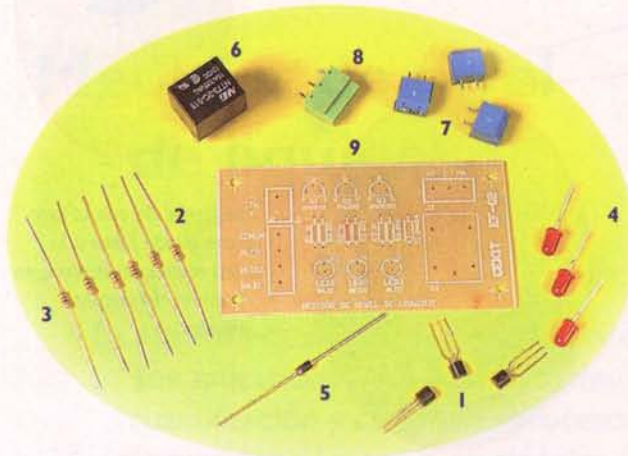


Figura 2.2. Componentes que conforman el kit

Lista de materiales

1. 3 Transistores NPN 2N3904 o similares (Q1 a Q3)
2. 3 Resistencias $1K\Omega$ a $1/4$ W (R1 a R3)
3. 3 Resistencias 220Ω a $1/4$ W (R4 a R6)
4. 3 Diodos LED rojos de 5 mm (D1 a D3)
5. 1 Diodo 1N4004
6. 1 Relé de 12V
7. 3 Conectores de 2 tornillos
8. 1 Conector de 3 tornillos
9. 1 Circuito impreso EF-02
10. 1m de soldadura

Ensamblaje

El medidor de nivel de líquido se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-02, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación, el interruptor, los sensores y los contactos de los relés de salida. Tenga mucho cuidado en ubicar los componentes en la forma correcta, especialmente los transistores y los diodos LED, ya que una equivocación puede causar un mal funcionamiento del circuito.

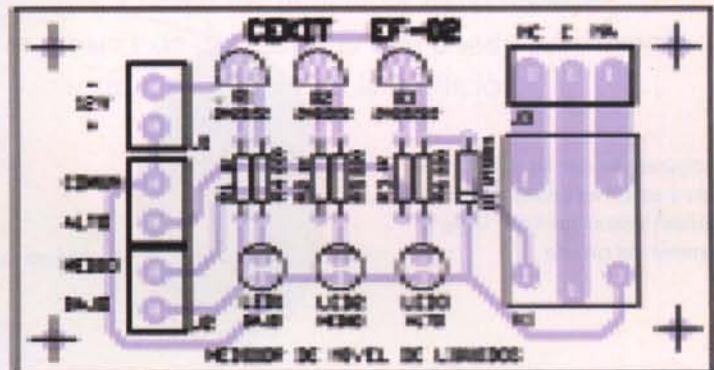


Figura 2.3. Guía de ensamblaje y circuito impreso

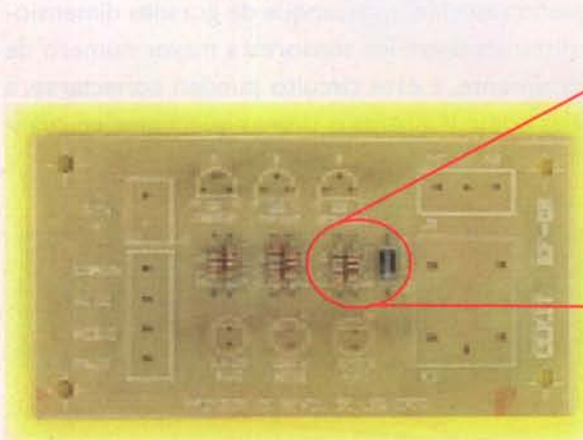
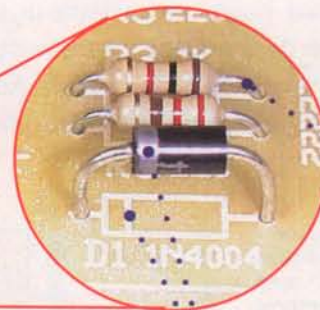


Figura 2.4. Suelde inicialmente las resistencias y el diodo



Deje descansar completamente las resistencias sobre la placa del circuito impreso. Doble los terminales con una pinza formando un ángulo recto con un pequeño arco en el vértice.

Asegúrese que la banda plateada del diodo quede orientada en la misma dirección que la del dibujo



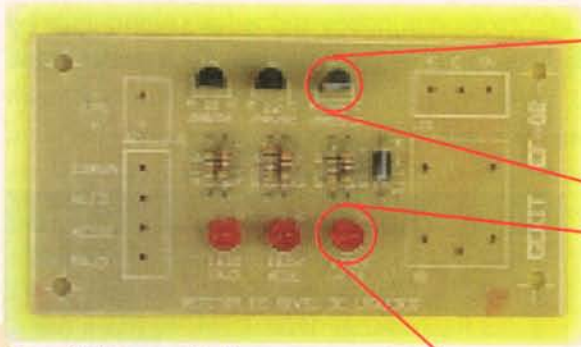
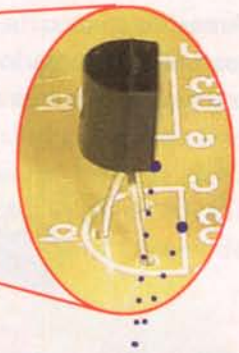


Figura 2.5. Luego suelde los transistores y los diodos LED



Asegúrese de que el lado plano quede junto a la línea recta que aparece en la tarjeta del circuito impreso



Para formar el conector de 4 tornillos, ensamble 2 conectores de 2 tornillos tal como se muestra en la figura.

Protuberancia

Asegúrese de que los orificios que van a recibir los cables de conexión queden orientados hacia la parte externa del circuito

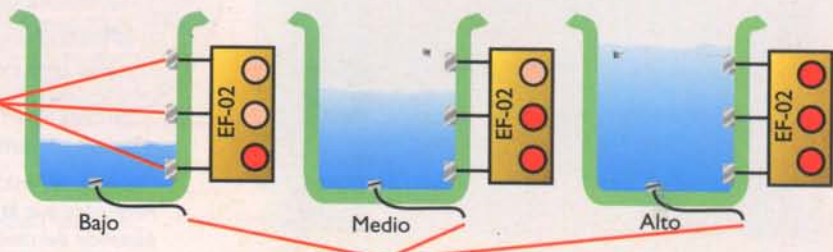


Figura 2.6. Finalmente suelde los conectores y el relé

Instalación del medidor de nivel de líquido

Este sencillo circuito le permitirá conocer el nivel del líquido contenido dentro de un recipiente sin importar su tamaño, el cual puede variar desde un pequeño vaso, hasta un tanque de grandes dimensiones. El grado de precisión de la medida, depende de la distancia entre los sensores; a mayor número de sensores, mayor será la precisión de la medida. Adicionalmente, a este circuito pueden conectarse, a través de los contactos del relé, elementos externos, tales como lámparas o sirenas que anuncien cuando el tanque está lleno.

Como elemento sensor puede emplearse cualquier objeto metálico que conduzca la electricidad. Usted mismo debe construir los sensores de acuerdo al recipiente donde desea hacer la medición.



El elemento común a todos los sensores está conectado a +V

Figura 2.7.



Proyecto 3

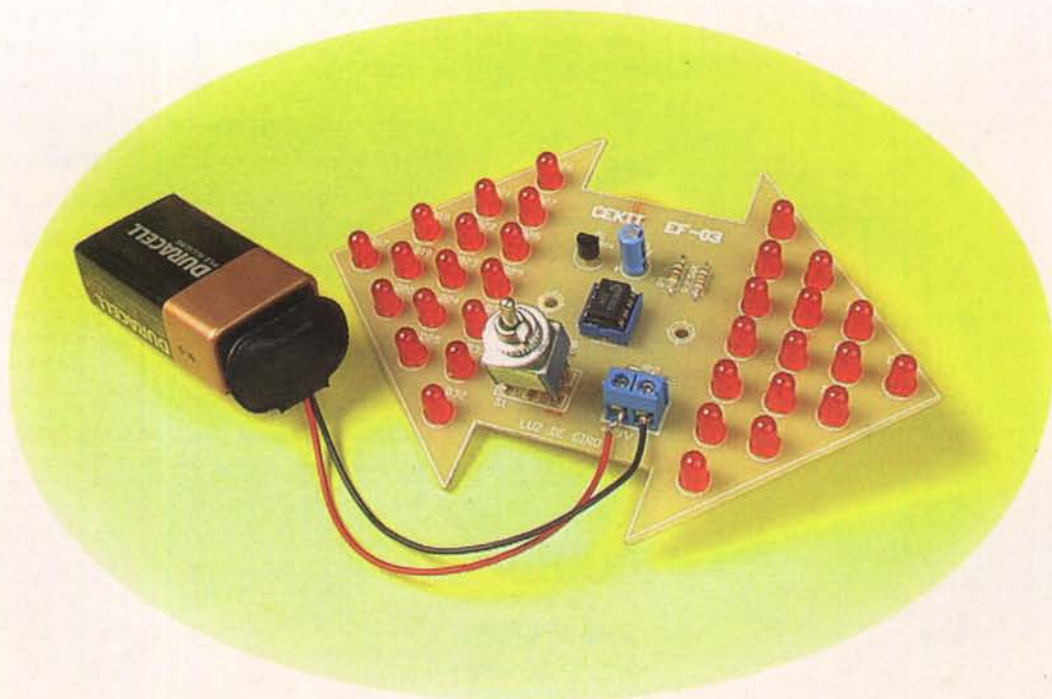
Luz de giro para bicicleta

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 1:30 min.

Este sencillo circuito, basado en el versátil circuito integrado 555, ha sido diseñado de tal forma que pueda ser instalado en vehículos pequeños tales como bicicletas o patinetas. Está alimentado por una pequeña batería y le permitirá indicar de manera visual hacia qué lado desea girar, evitando así posibles accidentes.



Con el correr de los días y debido al alto nivel de contaminación ambiental que hay en el mundo entero causado por los vehículos alimentados con combustible, y gracias a la conciencia ecológica tan marcada de nuestro tiempo, se ha buscado una solución a dicho problema mediante el empleo de otro tipo de vehículos que no contaminen la atmósfera, lo cual es altamente apreciable en los países desarrollados donde la mayor parte de las personas, sin importar su edad, clase social, sexo, ni ocupación se desplazan, por ejemplo, en bicicleta; lo cual además de preservar el medio ambiente ayuda a conservar un buen estado físico.

Sin embargo, el uso de vehículos que no son operados por combustible no es una excusa para tener un vehículo sin indicadores visuales, los cuales ayudan a evitar fatales accidentes de tránsito.

Mediante la utilización de un sencillo circuito alimentado por una pequeña batería, usted puede lograr dicho propósito de tal forma que los demás conductores adviertan hacia adónde va a girar, mediante la activación de luces intermitentes tal como en los vehículos operados por combustible.

Teoría de funcionamiento

Una de las aplicaciones del circuito integrado 555, de mayor utilización en electrónica, es como reloj o *astable*. Es decir, como un circuito que emite una serie de pulsos cuya frecuencia puede ser ajustada de acuerdo a las necesidades del usuario.

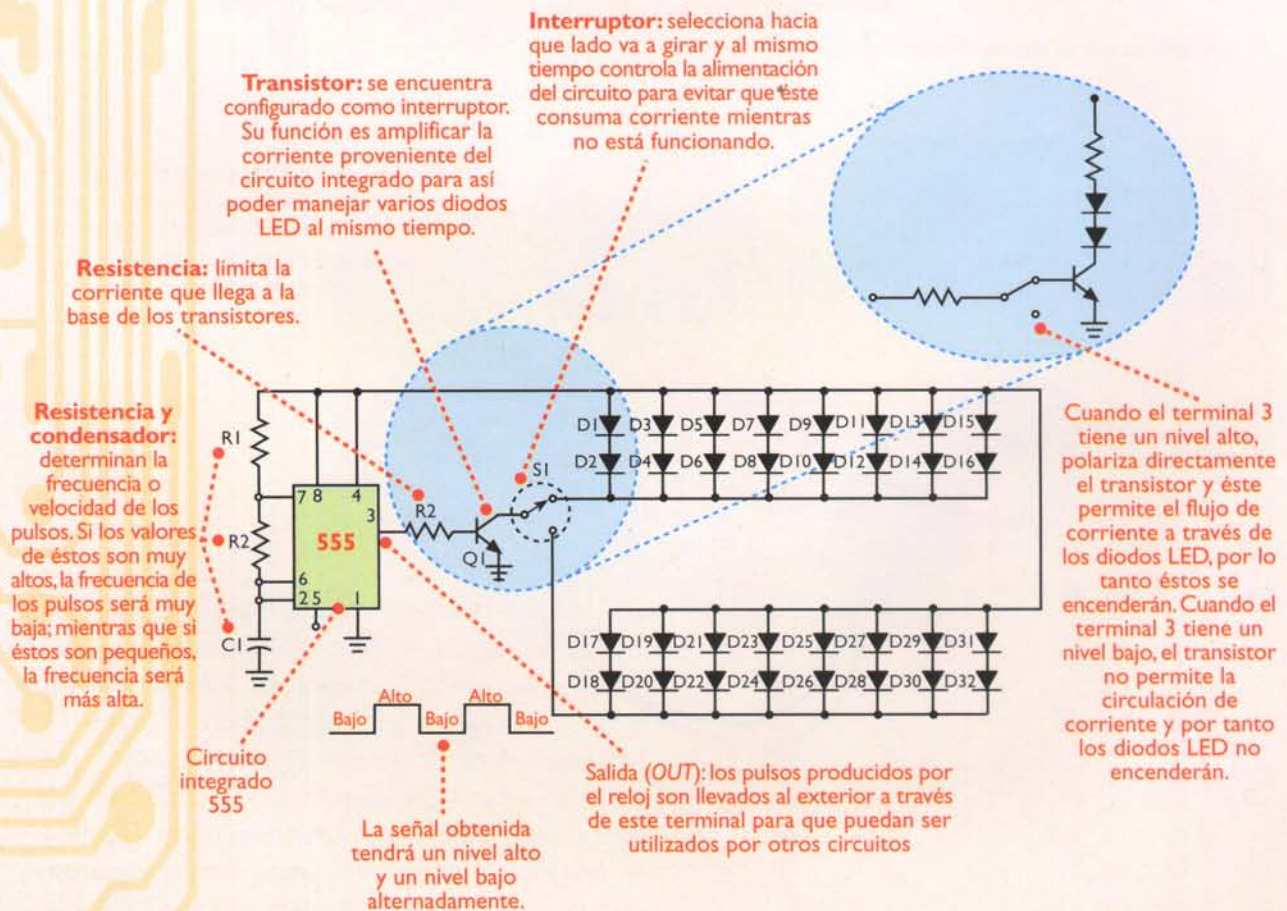


Figura 3.1. Diagrama esquemático de la luz de giro.

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe estar seguro de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta. De esta forma el trabajo se hace más rápido.

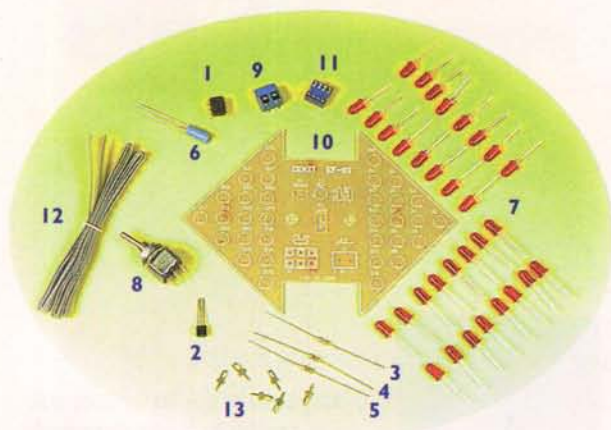


Figura 3.2. Componentes que conforman el kit.

Ensamblaje

El circuito que nos ocupa se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-03, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación y el interruptor. Tenga mucho cuidado de ubicar los componentes en la forma correcta, especialmente el circuito integrado, los transistores, el condensador y los diodos LED, ya que una equivocación puede causar el mal funcionamiento del circuito. El proyecto es muy fácil de armar.

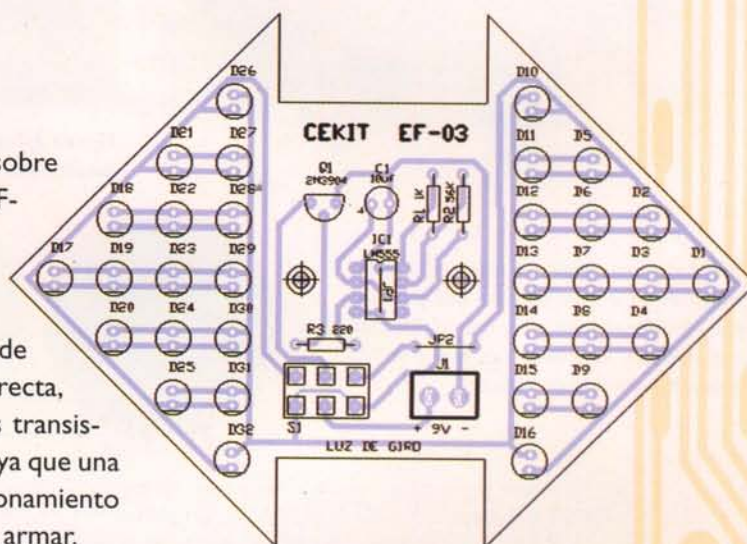


Figura 3.3. Guía de ensamblaje y circuito impreso.

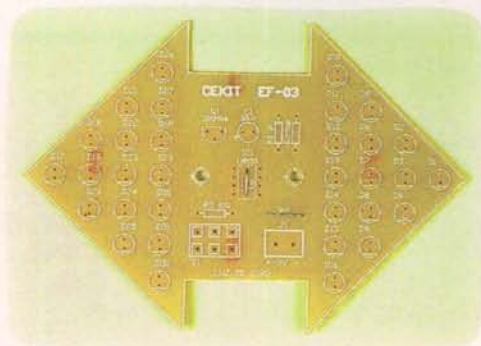
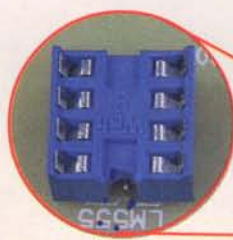


Figura 3.4. Primero ubique y suelde los puentes



Asegúrese de que la ranura coincide con la del dibujo, pues ésta le servirá de guía para la instalación del circuito integrado.

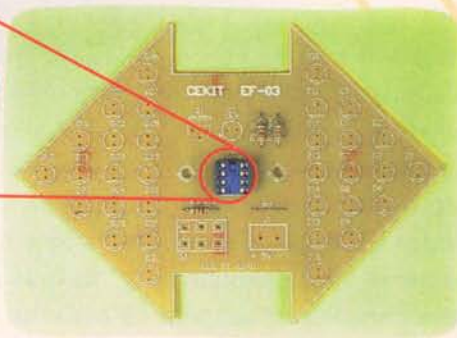


Figura 3.5. Luego las resistencias y la base para el circuito integrado.

Proyecto 4

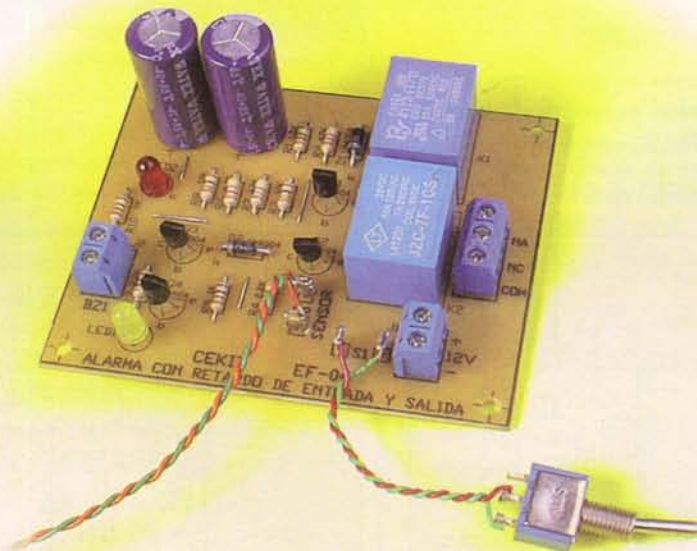
Alarma con retardo de entrada y de salida

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 1:30 min.

Este sencillo circuito de alarma se activa aproximadamente treinta segundos después de ser encendido para dar tiempo al usuario de salir y treinta segundos después de que el sensor detecta la entrada no permitida de una persona, para así sorprender al intruso dentro de la casa u oficina o para dar tiempo suficiente a la persona autorizada para entrar y desconectar la alarma.



La seguridad ha sido desde siempre una de las áreas en las que la electrónica ha tenido mayor aplicación, pues nos brinda una gran cantidad de ingeniosas y eficaces soluciones a dicho problema. El circuito que presentamos a continuación, aunque es muy sencillo y de muy bajo costo, resulta igualmente confiable. Dicho sistema está conformado por cuatro circuitos simples a base de transistores. El primero es un temporizador que establece el tiempo de retardo necesario para que una vez encendida la alarma, el usuario pueda salir del lugar sin que ésta se active.

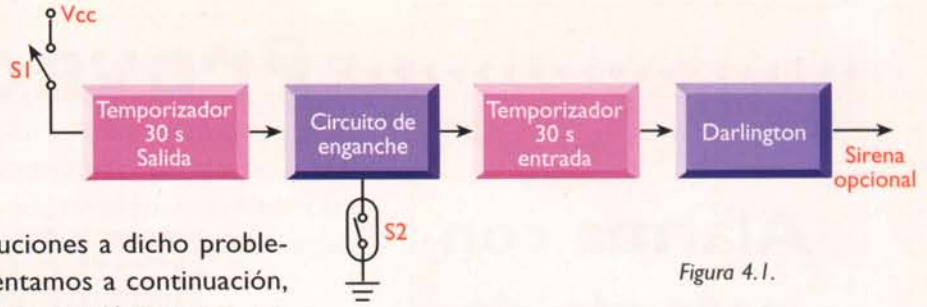


Figura 4.1.

Un segundo bloque, o circuito de enganche que se activa al abrirse el sensor, ubicado estratégicamente en la puerta que se desea proteger y que se encarga de evitar que cuando éste vuelva a su posición inicial, la alarma se desactive nuevamente. Además proporciona el voltaje de alimentación al tercer bloque, que es exactamente igual al primero, pero que se encarga de dar al usuario el tiempo necesario para que cuando abra la puerta, pueda entrar y apagar la alarma; si esto no se hace antes de que haya transcurrido dicho tiempo, este circuito energizará la siguiente etapa, la cual simplemente refuerza la señal que recibe y activa los indicadores de intrusión (el LED2 y el zumbador) y un relé que se ha dispuesto, para darle la opción de colocar además una sirena de potencia. **Figura 4.1**

A continuación explicamos detalladamente el funcionamiento de cada uno de los componentes que conforman el circuito y su función en cada una de las etapas.

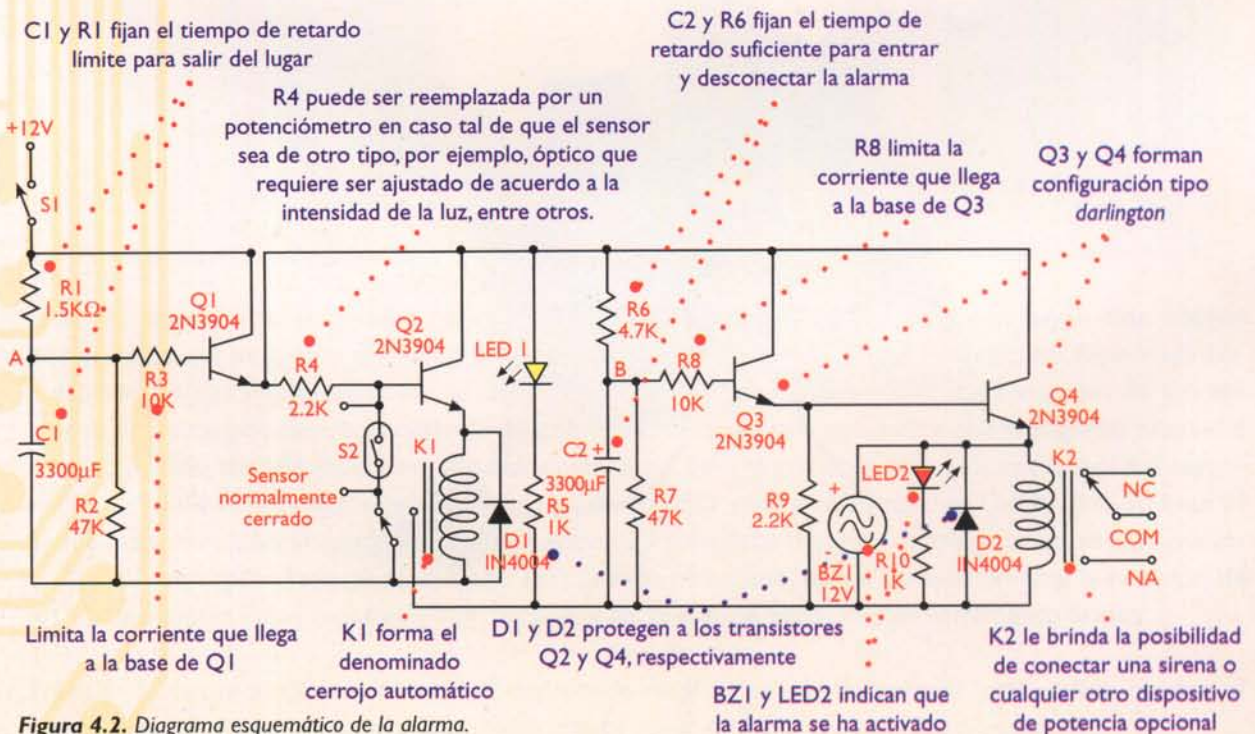


Figura 4.2. Diagrama esquemático de la alarma.

Teoría de funcionamiento

Circuito temporizador: cuando se cierra el interruptor general S1, inmediatamente comienza a circular una pequeña corriente a través de la resistencia R1, que al llegar al punto **A**, se divide por los tres caminos posibles, circulando la mayor parte de ésta por aquel en el cual la resistencia es menor; es decir por el condensador C1; por las otras dos trayectorias circula una corriente muy pequeña, apenas apreciable y que no logra activar el transistor. A medida que la corriente llega a C1 éste va cargándose (almacenando energía) lentamente, hasta hacerlo por completo. En ese momento no permite que continúe la circulación de la corriente, por lo que ésta debe seguir únicamente por los dos caminos restantes; nuevamente la mayor parte de ella circulará por el camino de menor resistencia, en este caso la resistencia R3 que lleva dicha corriente a la base del transistor Q1, haciendo que éste se active y permita el paso de la corriente a través de él. Lo mismo sucede cuando se activa el siguiente circuito y se energiza el punto **B** del circuito. La señal que se obtiene a la salida del primer temporizador, es empleada para alimentar el circuito de enganche.

Circuito de enganche: se activa al abrir el interruptor NC (normalmente cerrado) del sensor. En estado normal, la corriente que circula a través de R4, va directamente al negativo de la fuente por medio del sensor, el cual no ofrece resistencia. Sólo unos cuantos mA circulan a través de R3, pero no logran activar el transistor Q3. Cuando el sensor se abre, la corriente se verá obligada a circular por la base de Q3, con lo cual se activa este transistor y se dispara el relé, cambiando la posición de sus contactos. Se produce así un cerrojo automático, el cual evita que el intruso desactive la alarma al retornar los sensores a su posición inicial. Este cerrojo energiza el segundo temporizador y la señal entregada al mismo es reforzada mediante un arreglo de transistores en configuración *darlington*, que nos permite controlar los dispositivos de salida. Este circuito de alarma permite una gran diversidad de aplicaciones que lo hacen realmente atractivo, pues no se encuentra limitado para ser utilizado en edificaciones sino que también puede ser usado para la seguridad de los automóviles ya que puede alimentarse directamente desde la batería, sin correr el riesgo de que ésta se descargue. Esto se debe a que cuando está en reposo, es decir, cuando no se ha disparado, la alarma tiene un consumo promedio de 300mA.

Lista de materiales

1. 4 Transistores 2N3904 o similar
2. 2 Condensadores de 3300uf /25V
3. 1 Diodo LED rojo de 5mm
4. 1 Diodo LED amarillo de 5mm
5. 2 Diodos rectificadores 1N4004
6. 2 Resistencias de 1 k Ω 1/4W
7. 1 Resistencia de 1.5 k Ω 1/4W
8. 2 Resistencias de 2.2 k Ω 1/4W
9. 2 Resistencias de 10 k Ω 1/4W
10. 1 Resistencia de 4,7 k Ω 1/4W
11. 2 Resistencias de 47k Ω
12. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-04
13. 1 Interruptor de codillo miniatura de 1 polo 2 posiciones
14. 2 Conectores de dos tornillos
15. 1 Conector de tres tornillos
16. 1 Zumbador de 12V
17. 1 Relé de 12V (K1)
18. 1 Relé de 6V (K2)
19. 4 Terminales para circuito impreso (espadines)

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe estar seguro de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.

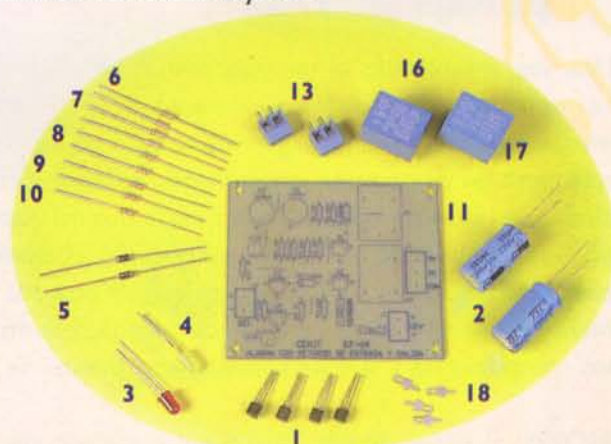
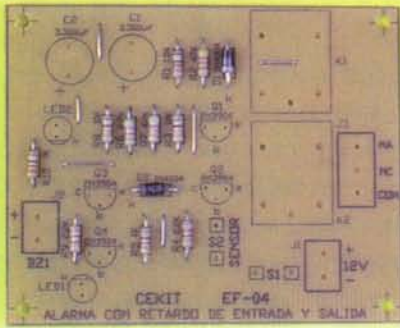


Figura 4.3. Componentes que forman el kit.

La alarma con retardo de entrada y de salida se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-04, en el cual se indica la posición de los componentes, y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación, el sensor, el interruptor general del circuito y una salida adicional la cual usted puede emplear para conectar una sirena u otro dispositivo complementario.

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Primero suelde los puentes de alambre, las resistencias y los diodos.



Paso 3. Posteriormente instale los relés.



Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente. Luego abra el elemento sensor y cierre el interruptor general del circuito. Espere aproximadamente unos treinta segundos, al cabo de los cuales debe escuchar cómo los contactos del primer relé cambian de posición, encendiendo el diodo LED amarillo que nos indica que la segunda etapa del circuito ha sido energizada. Treinta segundos más tarde, deberá escuchar cómo los contactos del segundo relé cambian de posición, encendiendo el diodo LED rojo y el zumbador. Cierre nuevamente el elemento sensor. La alarma debe continuar activada y sólo debe dejar de estarlo cuando se abra nuevamente el interruptor general del circuito (S1). Si esto no sucede, revise cuidadosamente la posición de los componentes y que las conexiones y puntos de soldadura estén lo suficientemente firmes.

NOTA: Si desea ampliar o reducir el tiempo de retardo ya sea de entrada o de salida, cambie el condensador que sea necesario por uno de mayor valor o menor valor, respectivamente.

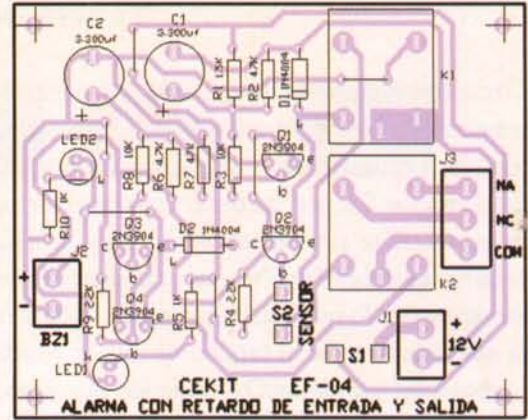
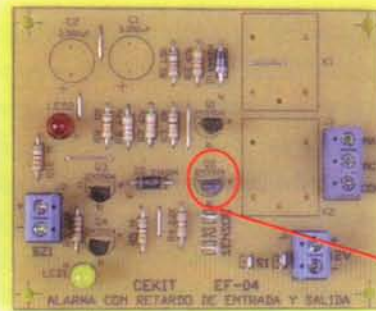
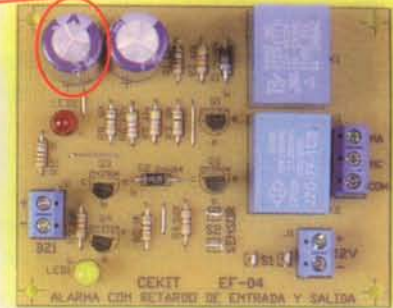


Figura 4.4. Guía de ensamblaje y circuito impreso

Paso 2. Luego suelde los transistores, los diodos LED y los espadines.



Paso 4. Finalmente ubique los condensadores.



Proyectos

En algunas ocasiones nos encontramos con la necesidad de emplear aparatos que no deben trabajar sino un determinado tiempo y permanecer apagados después, lo cual es muy común en las industrias (control de motores, resistencias calentadoras, etc.), en ciertas aplicaciones hogareñas (hornos, calentadores, etc.), o en casos especiales. Uno de ellos, por ejemplo, son las incubadoras empleadas en los criaderos de pollos donde a los pollitos recién salidos de su cascarón se les coloca una bombilla que les proporciona el calor que ellos necesitan para sobrevivir los primeros días; allí es muy útil el empleo de un circuito que controle el encendido y apagado de la lámpara automáticamente, y con una duración determinada.

Otras aplicaciones para este proyecto pueden ser como señalización en parqueaderos, o en la carretera cuando un automóvil está averiado, pues este circuito puede ser conectado a la batería del automóvil mediante un cable lo suficientemente largo como para que quede instalado a una distancia prudente del automóvil, o simplemente para indicar de manera vistosa que un equipo o aparato está encendido. En la **figura 5.1** se muestra el diagrama esquemático del circuito y la función de cada uno de los principales componentes.

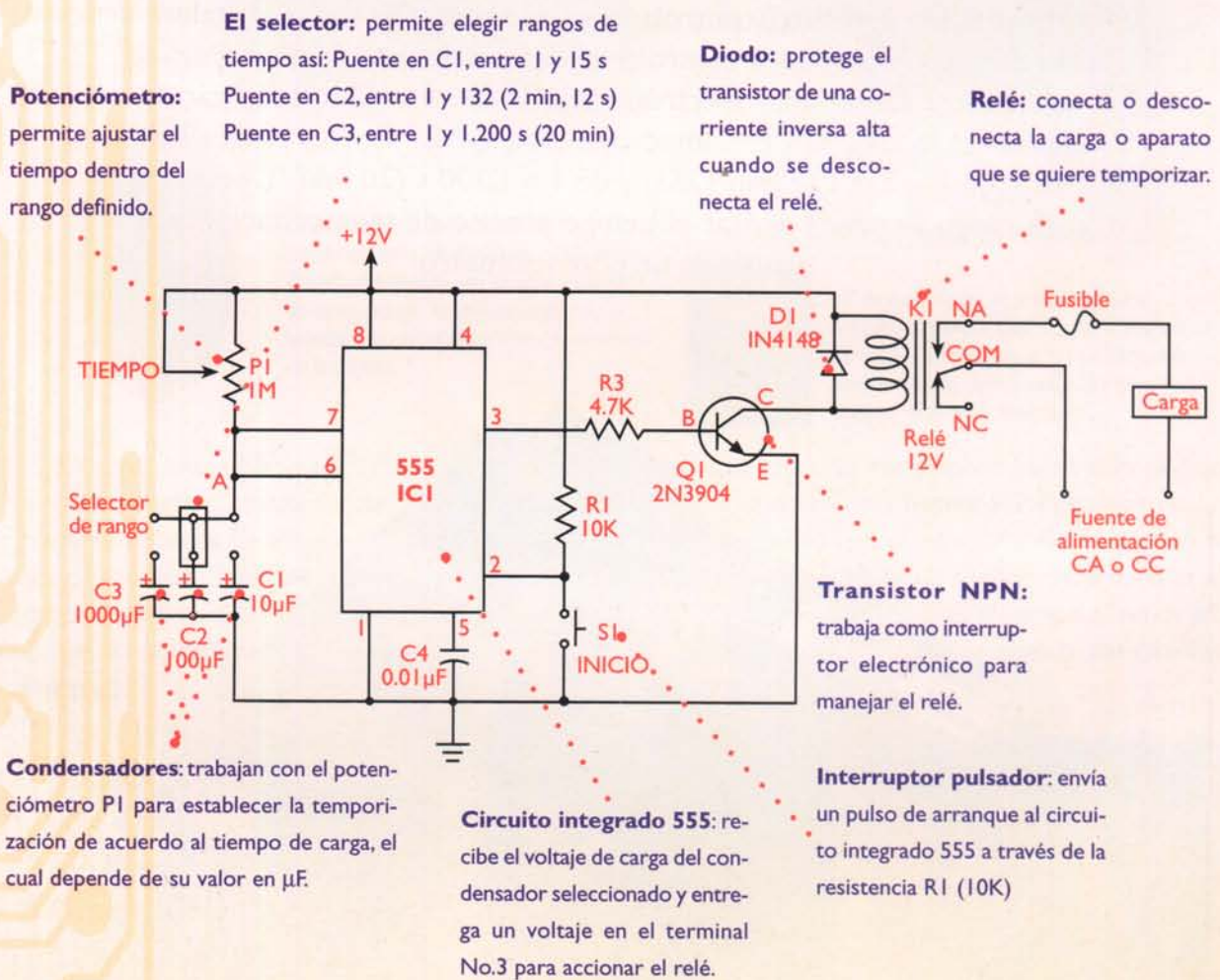


Figura 5.1. Diagrama esquemático del temporizador



Teoría de funcionamiento

Como lo mencionamos, los temporizadores son circuitos que generan intervalos definidos de tiempo. En este caso se utiliza como elemento principal un circuito integrado 555. En sus pines de entrada No.6 y 7 se conecta una resistencia variable (P1) por la cual circula una corriente que va cargando el condensador seleccionado (C1, C2 o C3). Inicialmente, cuando presiona el pulsador S1, el pin No.3 del 555 entrega un voltaje alto, el transistor Q1 conduce y el relé activa la carga. Cuando se alcanza un determinado voltaje en el punto A, el circuito integrado no entrega voltaje en su pin No.3 de salida lo cual hace cortar el transistor y a su vez desactiva el relé y desconecta la carga. El tiempo de carga depende del valor del potenciómetro P1 y del condensador que esté conectado en ese momento. Entre mayor sea el valor de estos componentes, mayores serán los periodos de tiempo y viceversa. Por eso el máximo tiempo se obtiene cuando el potenciómetro tiene un valor de $1\text{ M}\Omega$ y está conectado el condensador de $1.000\ \mu\text{F}$ (aproximadamente 20 min).

Lista de materiales

1. 1 transistor NPN 2N3904 (Q1)
2. 1 condensador de $10\ \mu\text{f} / 16\text{V}$ (C1)
3. 1 condensador de $100\ \mu\text{f} / 16\text{V}$ (C2)
4. 1 condensador de $1000\ \mu\text{f} / 16\text{V}$ (C3)
5. 1 condensador de $0.01\ \mu\text{f} / 50\text{V}$ (C4)
6. 1 resistencia de $10\text{K}\ \Omega$ (R1)
7. 1 resistencia de $4.7\text{K}\ \Omega$ (R2)
8. 1 diodo 1N4148 (D1)
9. 1 potenciómetro de $1\text{M}\ \Omega$ (P1)
10. 1 relé de 12V (K1)
11. 1 circuito integrado 555 (IC1)
12. 1 base de 8 pines para circuito integrado
13. 1 interruptor pulsador (S1)
14. 1 conector de dos tornillos
15. 1 conector de tres tornillos
16. 3 conectores tipo cerca de dos pines
17. 1 puente o jumper de dos pines
18. 1 circuito impreso CEKIT ref. EF-05

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe estar seguro de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta. De esta forma el trabajo se hace más rápido.

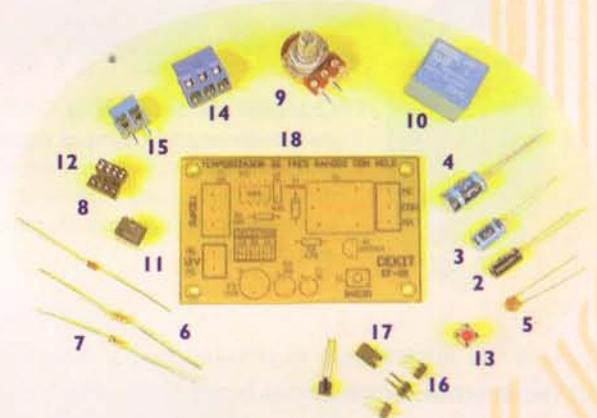


Figura 5.2. Componentes que forman el kit

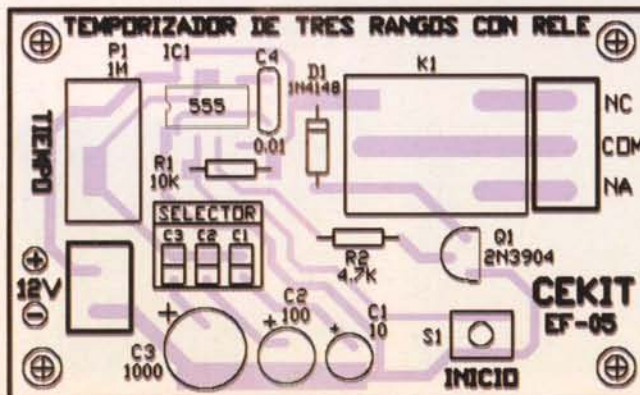


Figura 5.3. Guía de ensamblaje

El temporizador de tres rangos con relé se ensambla sobre un circuito impreso referencia CEKIT EF-05, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación, los contactos del relé y el selector de rangos. **Figura 5.3**



Proyecto 6

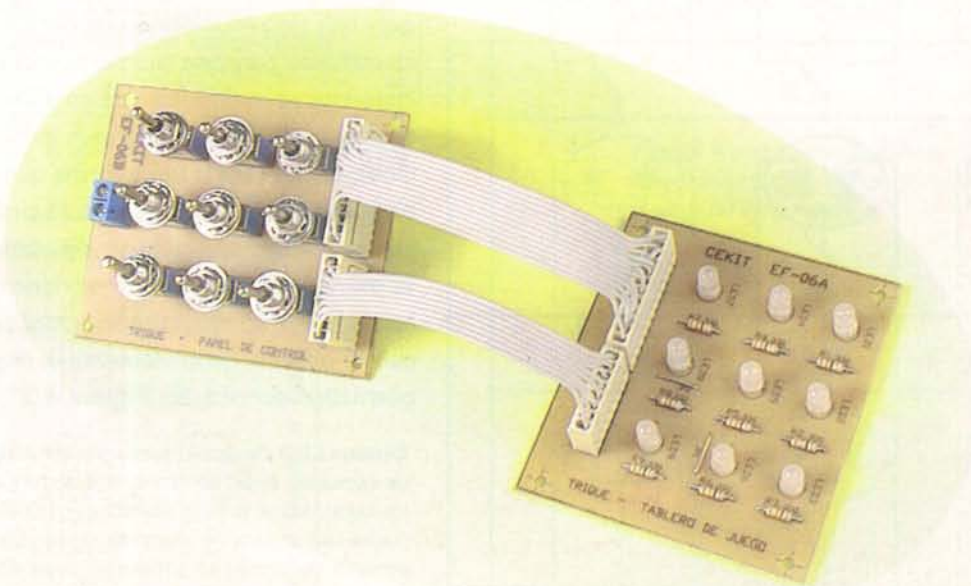
Trique (Tateti)

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 1:00 horas

La electrónica, entre muchas de sus aplicaciones, se utiliza para diseñar una gran variedad de juegos. El circuito que presentamos a continuación es una simulación electrónica del popular juego llamado "Trique" o "Tateti", con el cual podemos divertirnos y ejercitar nuestras habilidades mentales.



Teoría de funcionamiento

El Trique (Tateti) es un juego muy antiguo y de gran popularidad debido tal vez a la facilidad que se tiene de improvisar un tablero para la partida. Para fabricar dicho tablero comúnmente se trazan sobre una hoja de papel dos líneas paralelas horizontales cruzadas con dos líneas paralelas verticales, formando un enrejado de nueve casillas. **Figura 6.1a.** En una partida de Trique participan solo dos (2) jugadores: uno de ellos hace marcas con una cruz y el otro con un círculo. **Figura 6.1b.** Cada jugador en su turno correspondiente debe marcar una de las casillas que se encuentran vacías en el momento de la jugada, hasta que uno de los jugadores logre completar con su marca una línea de tres espacios, la cual puede ser diagonal **figura 6.1c**, vertical **figura 6.1d** u horizontal **figura 6.1e.** En caso tal de que al terminar la partida no haya un ganador sino un empate, ya que existe la posibilidad de que al llenar la totalidad de las casillas ninguno de los jugadores consiga llenar alguna línea con su marca correspondiente, **figura 6.1f**, se deberá iniciar una nueva partida hasta que haya un ganador.

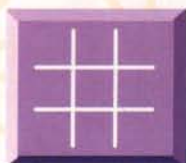


Figura 6.1a

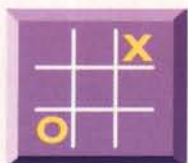


Figura 6.1b

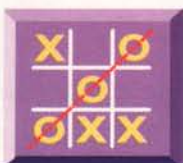


Figura 6.1c

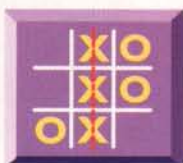


Figura 6.1d

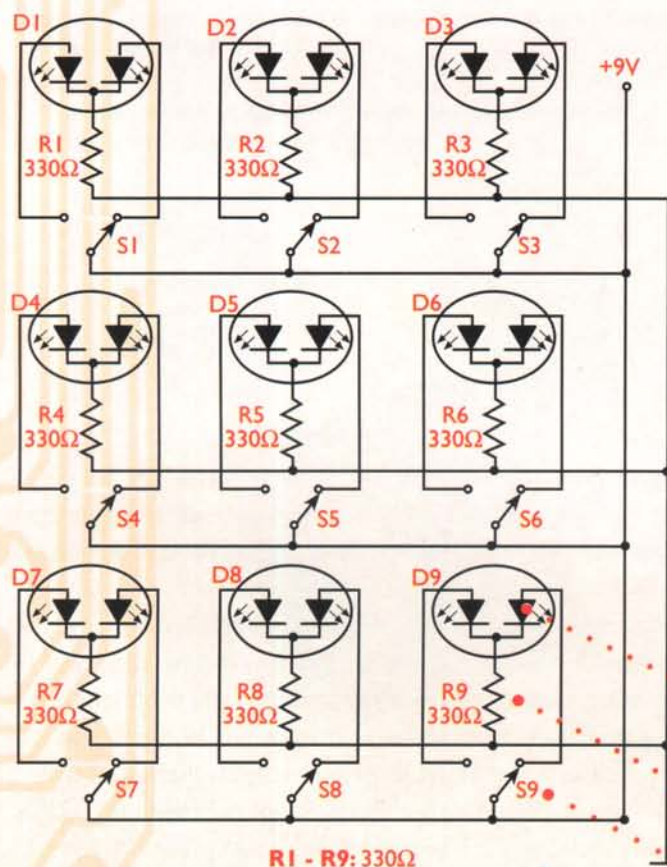


Figura 6.1e



Figura 6.1f

El circuito que presentamos a continuación lleva dicho juego al campo de la electrónica, haciéndolo más llamativo y económico, en términos de tiempo y de dinero, pues el tablero de juego es reutilizable y no tiene que ser continuamente dibujado y reemplazado.



R1 - R9: 330Ω

Figura 6.2. Diagrama esquemático del Trique

En éste, las marcas hechas con cruces y círculos son sustituidas con diodos LED de dos colores, donde cada color representa una marca; dichos diodos configuran el **tablero de juego** y han sido reunidos en un circuito impreso identificado con este mismo nombre. Para encenderlos se ha dispuesto de un **panel de control**, el cual contiene un interruptor por cada diodo LED, y será la única forma que se tendrá para interactuar con el juego. El circuito, aunque posee un buen número de componentes, es muy económico y sus conexiones fáciles de hacer, ya que son repetitivas, lo cual puede percibir si observa detenidamente el diagrama esquemático del circuito. **Figura 6.2**

Diodos LED de dos colores: poseen tres terminales de conexión, el del centro es el cátodo y es común a los otros dos terminales ubicados en los extremos, los cuales son ánodos. Al energizar un par cátodo-ánodo de estos terminales se obtiene un color diferente.

Resistencias: limitan la corriente que circula por los diodos LED.

Interruptores: permiten seleccionar los diodos LED y el color deseado.

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe estar seguro de que tiene disponibles todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.

Lista de materiales

1. 9 Diodos LED de dos colores
2. 9 Interruptores de codillo de un polo, tres posiciones
3. 9 Resistencias de 330Ω , $1/4W$, 5%
4. 1 Conector de dos (2) tornillos
5. 2 Conectores en línea de 12 pines
6. 2 Conectores en línea de 8 pines
7. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-06A
8. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-06B
9. 10cm de cable *ribbon* de 20 líneas

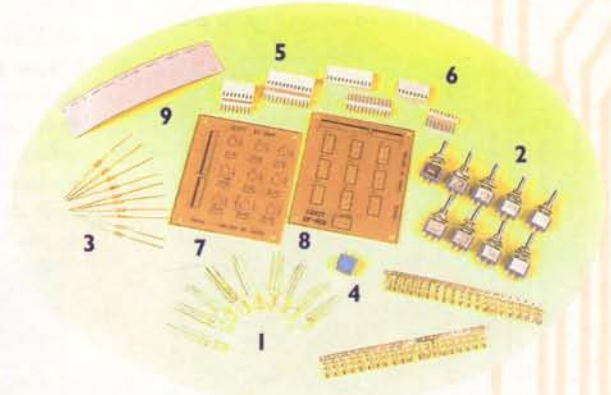


Figura 6.3. Componentes que conforman el kit.

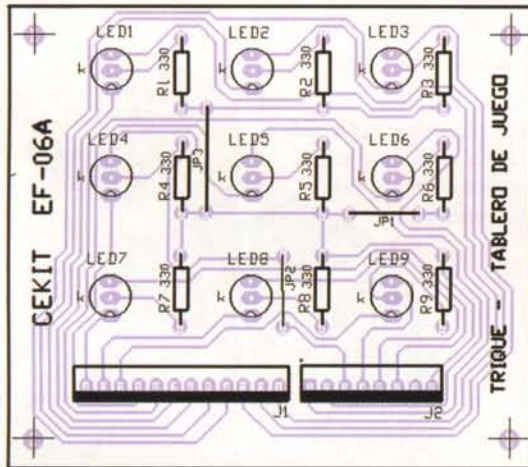


Figura 6.4a. Guía de ensamblaje y circuito impreso del tablero de juego.

El Trique se ensambla sobre dos circuitos impresos CEKIT: uno referencia EF-06A que constituye el tablero de juego, y el otro referencia EF-06B, llamado panel de control; en los cuales además, de indicarse la posición de los componentes, se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación.

Pasos para el ensamblaje

El proyecto es muy fácil de ensamblar. Arme un circuito a la vez.

Paso 1. Primero suelde los puentes de interconexión y luego las resistencias del tablero de juego (EF06A). **Figura 6.5.**

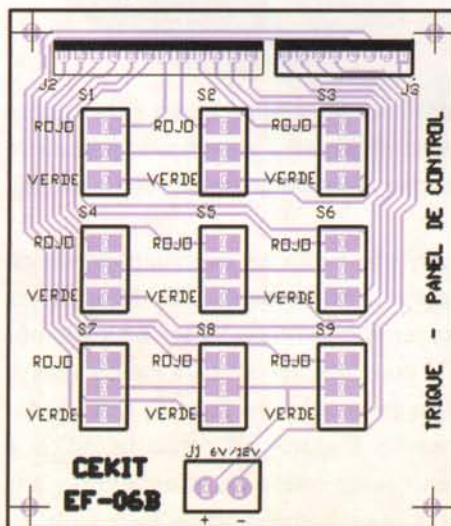
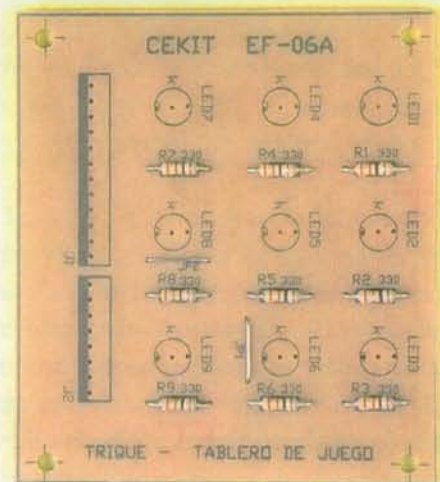


Figura 5.4b. Guía de ensamblaje y circuito impreso del panel de control



Proyecto 7

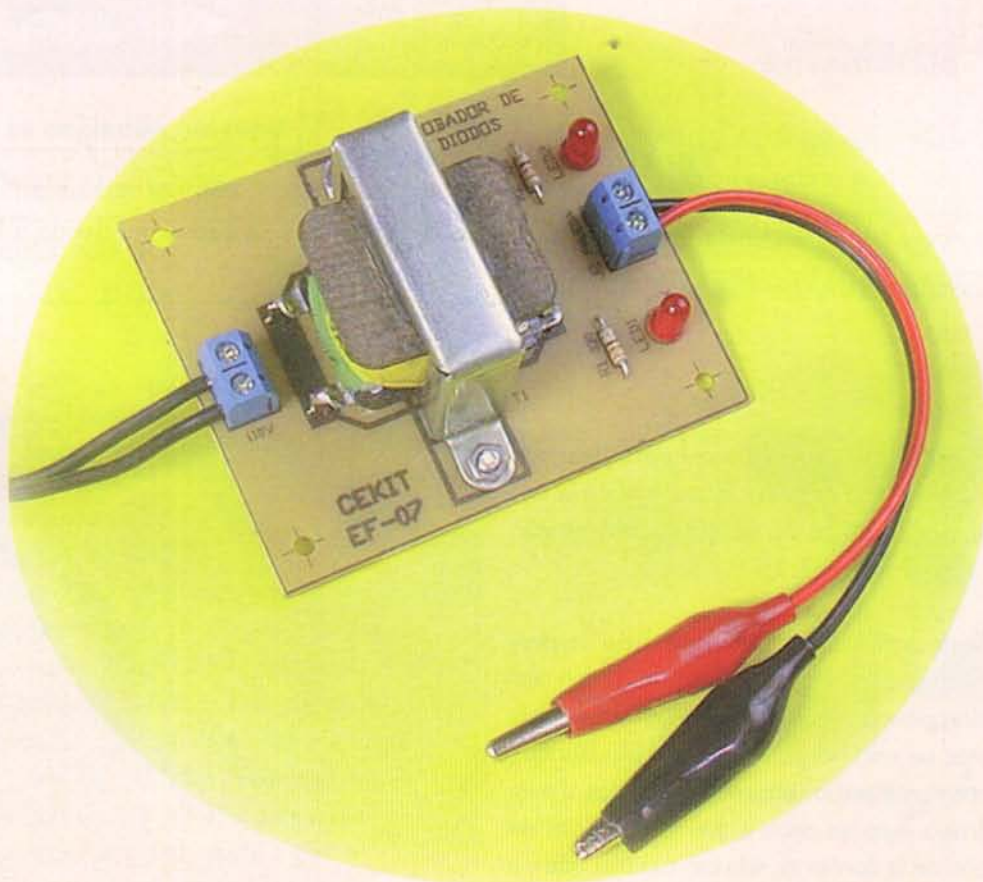
Probador de diodos

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 30 min.

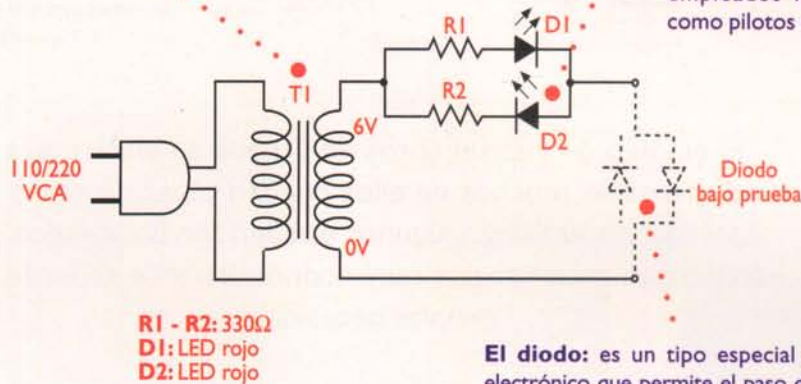
El empleo de instrumentos de prueba en electrónica es indispensable, muchos de ellos pueden tener un costo muy elevado; sin embargo, algunos pueden ser elaborados por usted mismo, a un precio muy económico y de acuerdo a sus propias necesidades.



El circuito que presentamos a continuación es muy útil como probador de diodos, el cual, sin necesidad de procedimientos complejos ni demorados y en un solo paso, le indica si el diodo sometido a la prueba se encuentra en mal o en buen estado; en tal caso, le indicará cual de los terminales es el ánodo y cuál el cátodo. En la **figura 7.1** se muestra su diagrama esquemático.

El transformador: su función es reducir el voltaje de la corriente alterna que toma de la red pública hasta un nivel adecuado para el circuito, por lo que su salida es igualmente una señal de corriente alterna, es decir una corriente que cambia de dirección constantemente.

Los diodos LED: además de permitir la circulación de la corriente en una sola dirección, emiten luz cuando ésta los atraviesa, por lo que son empleados frecuentemente como pilotos (indicadores)



El diodo: es un tipo especial de componente electrónico que permite el paso de la corriente en una sola dirección y lo impide en la dirección contraria; comportándose como un cortocircuito cuando la corriente va en la dirección correcta y como un circuito abierto cuando no.

Figura 7.1 Diagrama esquemático

Teoría de funcionamiento

De acuerdo a las condiciones en que se encuentre el diodo que se está sometiendo a la prueba, pueden presentarse las siguientes opciones:

- Si el diodo está **abierto**, no habrá una trayectoria continua para la circulación de la corriente, por lo tanto no se encenderá ningún diodo LED. **Figura 7.2**
- Si el diodo está en **cortocircuito**, no se presentará oposición al paso de la corriente en ninguna dirección; por ello en cada alternancia de la corriente se encenderá un diodo LED. Aunque aparentemente vemos encendidos los dos al mismo tiempo, esto se debe a que los cambios de dirección de la corriente son tan rápidos que no alcanzamos a percibirlos. **Figura 7.3**

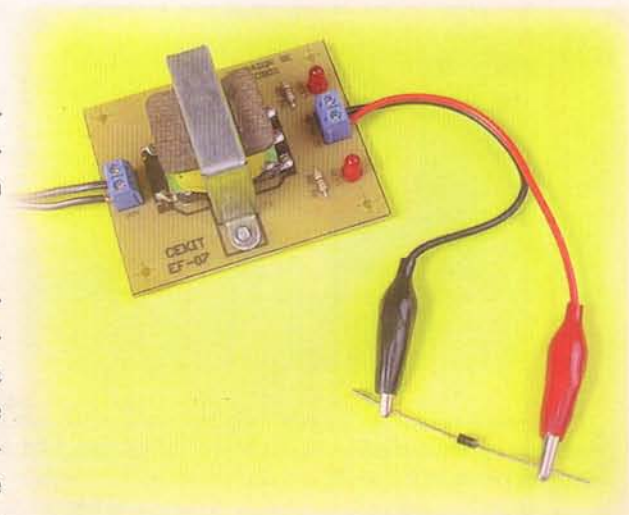


Figura 7.2 Prueba de un diodo abierto

- Si el diodo se encuentra en buen estado, encenderá un solo diodo LED, aquel que se encuentre orientado en la misma dirección del diodo que se está probando, indicando cual es el cátodo del diodo de prueba. **Figura 7.4**

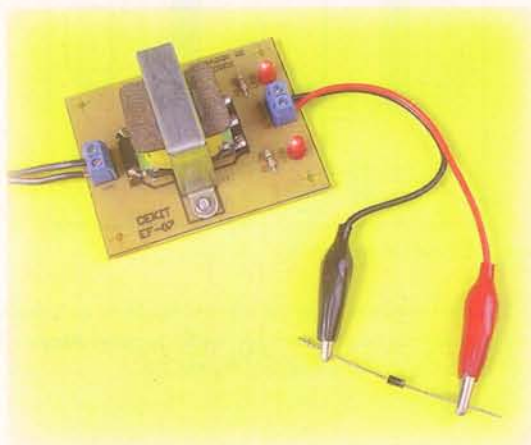


Figura 7.3 Prueba de un diodo en cortocircuito

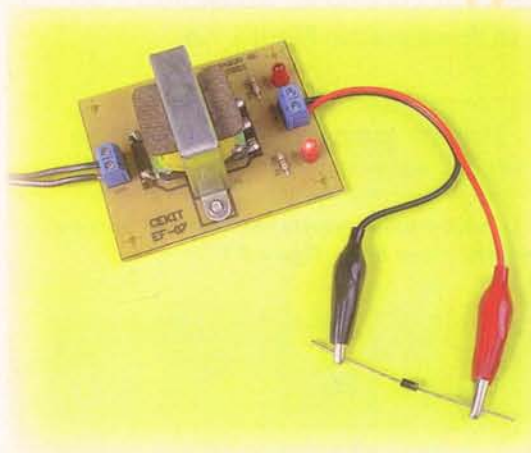


Figura 7.4 Prueba de un diodo en buen estado

En la **tabla 7.1** se resumen los resultados de las pruebas.

	Estado de los LED		Estado del diodo
1	No se enciende ninguno	● ●	Abierto
2	Se encienden los dos	● ●	Malo
3	Se enciende uno	● ● ● ●	Bueno

Tabla 7.1

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que tiene disponibles todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.

Lista de materiales

1. 1 Transformador M500 (110 ó 220V/6V, 200mA)
2. 2 Conectores de 2 tornillos
3. 2 Resistencias de 330Ω, 1/4 W, 5%
4. 2 Diodos LED rojos de 5mm
5. 5 Espadines
6. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-07
7. 1 Cable de alimentación con enchufe
8. 2 Caimanes con cable (1 rojo y 1 negro)
9. 2 Tornillos de 1/8" x 1/4" con tuerca
10. 4 Tornillos de 1/8" x 1/2" con tuerca
11. 4 Separadores plásticos de 5 mm
12. Base aislante de acrílico

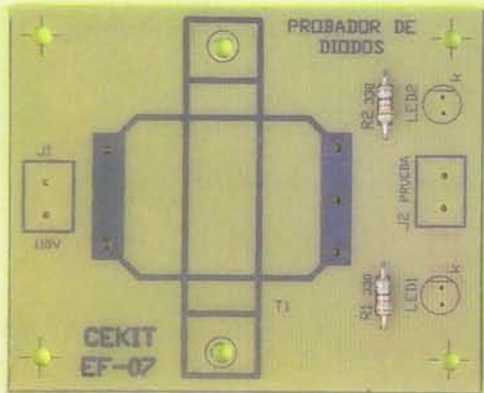


Figura 7.5. Componentes que conforman el kit

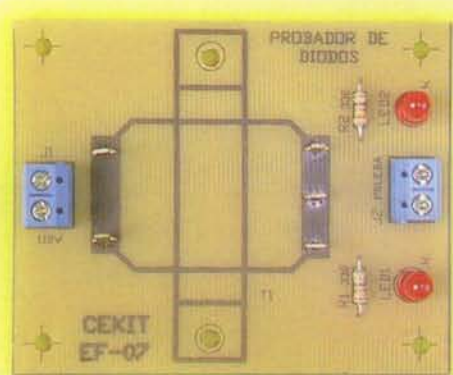
El probador de diodos se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-07, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones del enchufe y del diodo que se desea probar. **Figura 7.6**

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero las resistencias, pues son los elementos de menor altura. **Figura 7.7**



Paso 2. Posteriormente suelde los espadines, los diodos LED y los conectores de dos tornillos. Recuerde que el lado plano del diodo LED debe coincidir con el que se encuentra dibujado en el circuito impreso. **Figura 7.8**



Paso 5. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente; de ser así, conecte el circuito a la red eléctrica; ningún LED debe encenderse. Posteriormente conecte el diodo que desea probar por medio de los caimanes. Observe si se encienden los diodos LED y verifique el estado del diodo de acuerdo a la **tabla 7.1**. En caso de que el diodo se encuentre en buen estado, observe cual de los dos diodos LED está encendido, esto nos indicará cual es el **cátodo** del diodo. Los diodos LED han sido colocados estratégicamente en el circuito impreso para que cumplan dicha función.

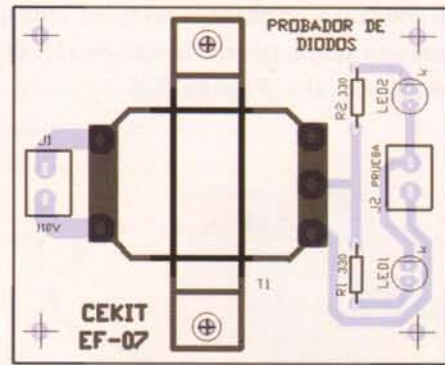
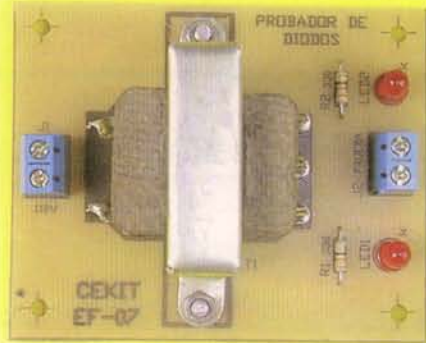


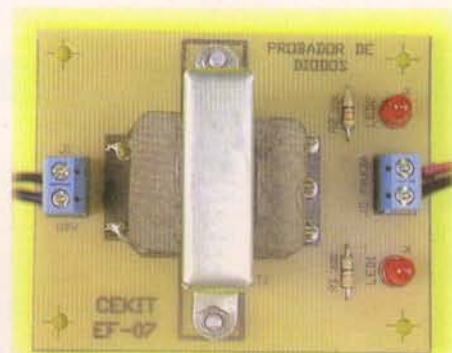
Figura 7.6. Guía de ensamblaje

Paso 3. Luego asegure el transformador por medio de los tornillos y una sus terminales a los espadines por medio de cables. Asegure las uniones con un punto de soldadura. **Figura 7.9**



Nota: Monte el circuito impreso sobre una base aislante de acrílico o un material similar, con el fin de evitar cortocircuitos con las conexiones.

Paso 4. Finalmente inserte en los orificios de los conectores de dos tornillos, el cable de alimentación para la red y los terminales de los caimanes. **Figura 7.10**





Proyecto 8

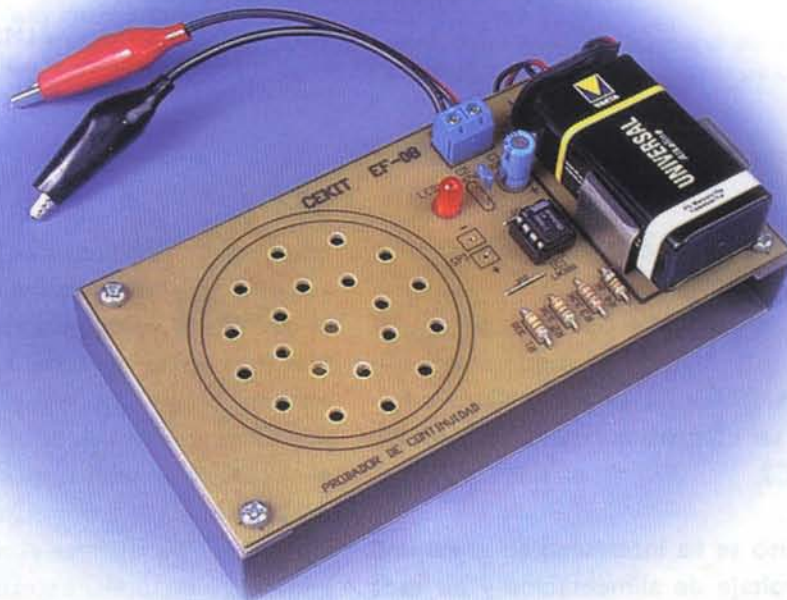
Probador de continuidad

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 30 min.

Uno de los instrumentos de mayor uso en electricidad y electrónica es el probador de continuidad. En esta ocasión presentamos un sencillo circuito con el que usted mismo puede construirlo.



Lista de materiales

1. 1 Parlante de 8 ohmios 0,5W
2. 1 Condensador cerámico de 0,47uf / 25V
3. 1 Condensador electrolítico de 220uf /16V
4. 1 Diodo LED rojo de 5mm
5. 1 Circuito integrado LM386
6. 1 Base de 8 pines para circuito integrado
7. 1 Resistencia de 330 Ω , 1/4 W
8. 2 Resistencias de 3,3 K Ω , 1/4 W
9. 1 Resistencia de 1 K Ω , 1/4 W
10. 1 Soporte para batería de 9V
11. 1 Conector para batería de 9V
12. 1 Conector de dos tornillos
13. 2 Conectores para circuito impreso (espaldines)
14. 2 Cables con caimanes (rojo, negro)
15. 6 Tornillos de 1/8" x 1/4" con tuerca
16. 1 Soporte metálico EF-08

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.



Figura 8.2. Componentes que conforman el kit

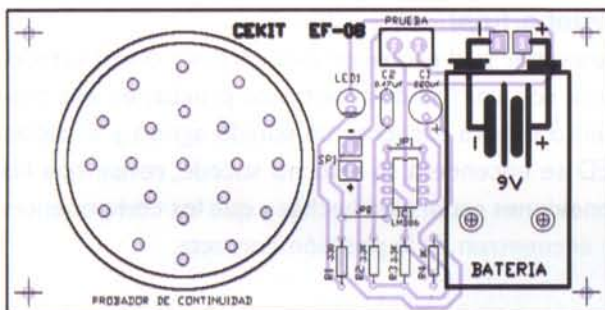


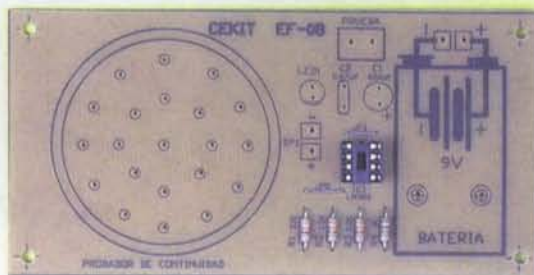
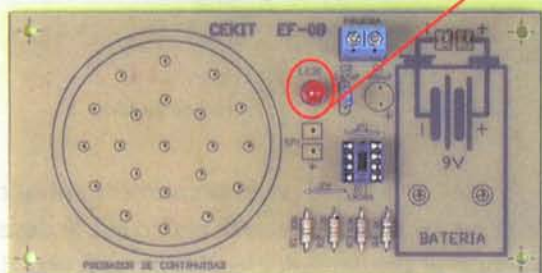
Figura 8.3. Guía de ensamblaje y circuito impreso

El probador de continuidad se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-08, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para el parlante y la batería de 9V. **Figura 8.3**

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Ubique primero los puentes de alambre, las resistencias y la base para el circuito integrado, pues son los elementos de menor altura. **Figura 8.4**

Recuerde que el lado plano del diodo LED debe coincidir con el que se encuentra dibujado en la placa de circuito impreso.



Paso 2. Posteriormente suelde los espaldines, el diodo LED, el condensador cerámico y el conector de dos tornillos. **Figura 8.5**



Proyecto 9

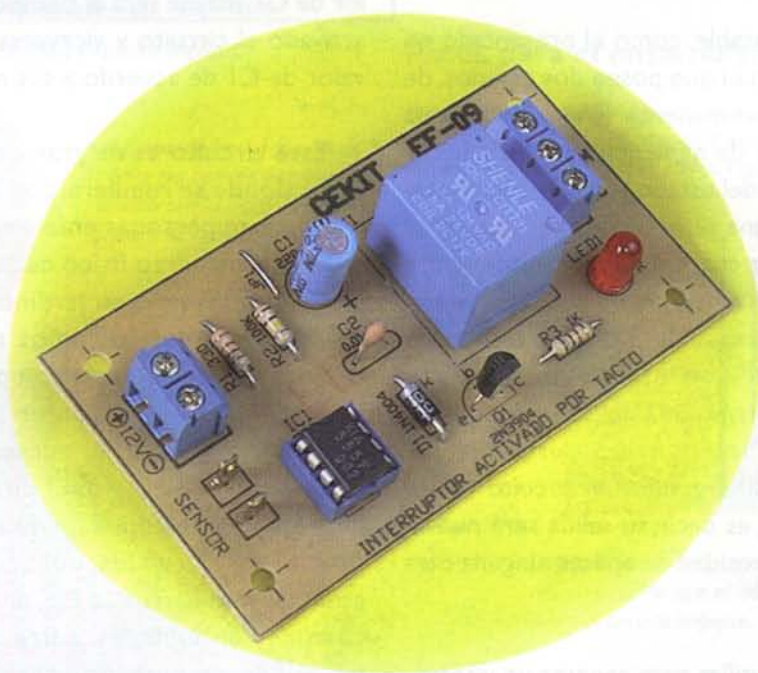
Interruptor activado por tacto

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 30 min.

El interruptor activado por tacto es un circuito que, como su nombre lo indica, se activa simplemente al tocar el elemento sensor. Este sencillo circuito que emplea el circuito integrado temporizador 555 como elemento central, es usado para generar un intervalo de tiempo fijo, lo que puede ser usado en múltiples tareas. Además es un proyecto muy llamativo y fácil de usar, debido a que su principio de funcionamiento se basa en la propiedad que tiene el cuerpo humano de ser conductor de la electricidad.



Lista de materiales

1. 1 Condensador cerámico de $0,01\mu\text{f}$ / 50V
2. 1 Condensador electrolítico de $220\mu\text{f}$ / 25V
3. 1 Diodo LED rojo de 5mm
4. 1 Diodo rectificador 1N4004
5. 1 Circuito integrado 555
6. 1 Base de 8 pines para circuito integrado
7. 1 Resistencia de 330Ω a 1/4 W
 8. 1 Resistencia de $1\text{K}\Omega$ a 1/4 W
9. 1 Resistencia de $100\text{K}\Omega$ a 1/4 W
10. 1 Conector de dos tornillos
11. 1 Conector de tres tornillos
12. 1 Transistor 2N3904
13. 2 Terminales para circuito impreso (espaldines)
14. 1 Relé de 6V
15. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-09

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.

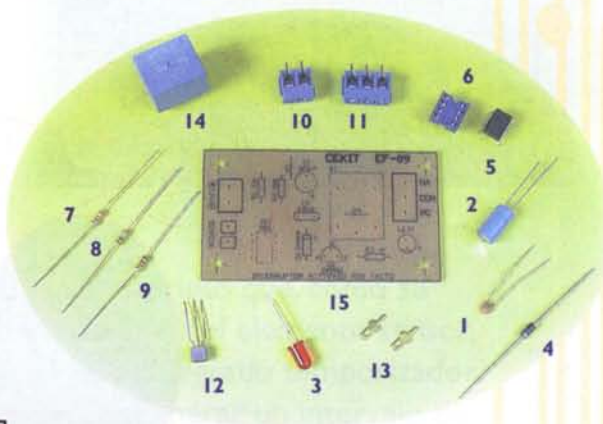


Figura 9.2. Componentes que conforman el kit.

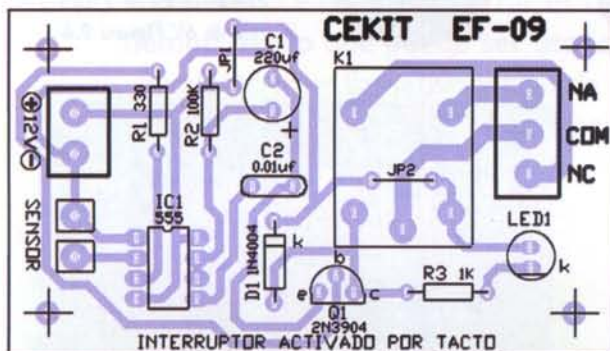


Figura 9.3. Guía de ensamblaje y circuito impreso.

El interruptor activado por tacto se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-09, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para una carga externa y la batería de 6V. **Figura 9.3**

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre, las resistencias, el diodo y la base para el circuito integrado, pues son los elementos de menor altura. **Figura 9.4**



Asegúrese de que la ranura de la base del circuito integrado coincida con la dibujada sobre la placa de circuito impreso.



Observe que el diodo quede en la misma posición que el dibujado sobre el circuito impreso.

Proyecto 10

Fuente triple regulada

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 2:30 min.

Una fuente de voltaje es uno de los instrumentos o equipos de mayor utilidad para todo estudiante, aficionado o profesional en electrónica.

El circuito que presentamos en esta ocasión contiene una fuente de voltaje variable y tres fuentes más de voltaje fijo. Con la primera se pueden obtener voltajes desde 1,2V hasta 20V. Las demás tienen una salida fija de +5V, +12V y -12V. Cada una de ellas puede manejar cargas hasta de 1A. Utilícela para alimentar y probar todos los circuitos de este curso y los otros que usted, por iniciativa propia, decida ensamblar.



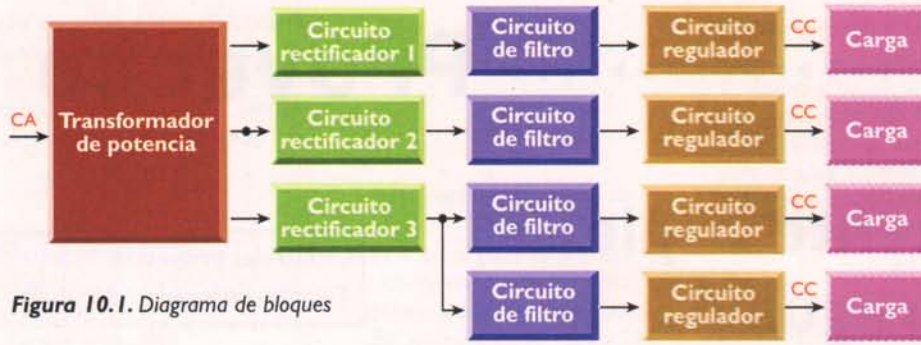


Figura 10.1. Diagrama de bloques

Todos los circuitos y sistemas electrónicos requieren para su funcionamiento de una fuente de alimentación que suministre los niveles de voltaje adecuados para su correcto funcionamiento. La mayor parte trabajan a partir de un voltaje de corriente continua (CC), el cual puede ser obtenido de dos formas:

1. Utilizando baterías
2. Utilizando una fuente de alimentación

El empleo de baterías ofrece varias ventajas, siendo la más importante su naturaleza portátil. Sin embargo, puede resultar muy costoso. El empleo de fuentes de alimentación, por su parte, es en la mayoría de los casos, una mejor alternativa, ya que convierten el voltaje de CA obtenido de la red pública, que es una fuente de energía económica y con una capacidad de corriente prácticamente il-

mitada, en el voltaje de CC apropiado para cada tarea específica.

La función básica de una fuente de alimentación, como la que construiremos en este proyecto, es mantener entre sus terminales de salida un nivel de voltaje de CC constante, independientemente de las variaciones del voltaje CA de entrada y la corriente exigida por la carga. En la práctica, sin embargo, las fuentes de alimentación tienen un límite en la corriente máxima que pueden suministrar. La fuente que presentamos en este proyecto, por ejemplo, suministra una corriente máxima de 1A en su salida variable (1,2V a 20V) y en sus tres salidas fijas (+5V, +12V y -12V).

Teoría de funcionamiento

En la figura 10.1, se muestra un diagrama de bloques que indica la estructura general de la fuente

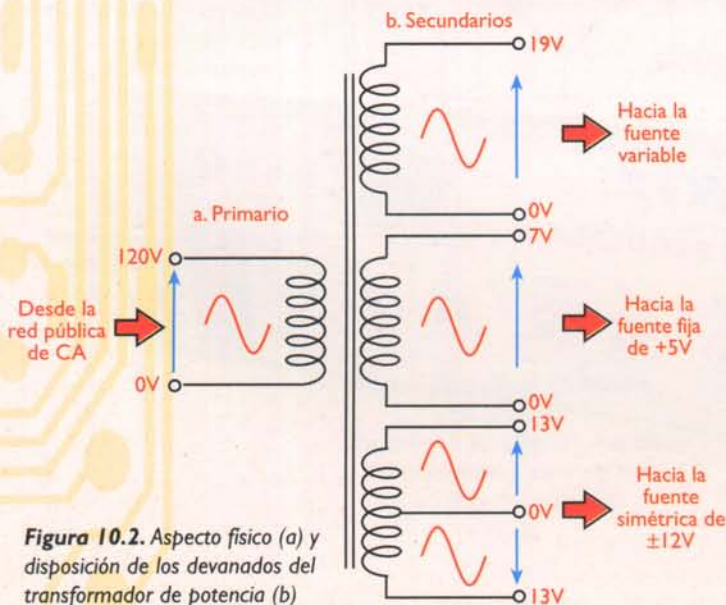


Figura 10.2. Aspecto físico (a) y disposición de los devanados del transformador de potencia (b)

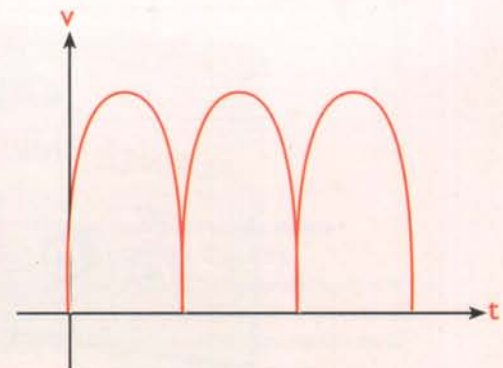


Figura 10.3. Forma de onda del voltaje de CC pulsante (VCCP) obtenido a la salida de los rectificadores sin la presencia del filtro

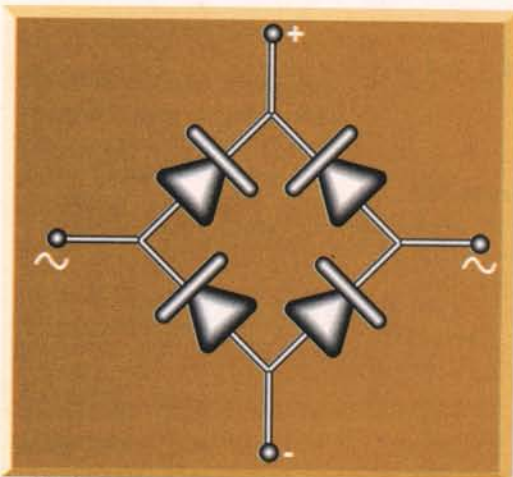


Figura 10.4. Disposición de los diodos en un puente rectificador de onda completa, discreto o integrado.

triple regulada. La misma consta básicamente de un transformador, y tres rectificadores independientes, cada uno asociado a un filtro y un regulador de voltaje. Estos últimos alimentan directamente la carga.

El primer rectificador suministra el voltaje CC de entrada para la fuente variable de 20V, el segundo para la fuente fija de +5V y el tercero para las fuentes de +12V y -12V, las cuales constituyen lo que se denomina una **fuentes simétrica**.

En todos los casos, el voltaje de CA suministrado por la red pública (120VCA o 220VCA), se aplica al bobinado primario del transformador. Este último se encarga de reducirlo y producir, en bobinados secundarios independientes, los voltajes CA de salida necesarios para el funcionamiento eficiente de cada fuente, **figura 10.2**

Cada uno de los voltajes de salida del transformador se aplica a un **rectificador**, el cual se encarga de convertirlo en un voltaje de CC pulsante, es decir de una sola polaridad pero que sigue las variaciones del voltaje CA de entrada, **figura 10.3**

La conversión de cada voltaje de CA en un voltaje de CC pulsante la efectúa un circuito como el mostrado en la **figura 10.4**, llamado **puente rectificador de onda completa**. Este último emplea cuatro diodos para rectificar el voltaje de entrada, dos de los cuales producen la polaridad positiva (+) del

voltaje CC de salida y los otros dos la polaridad negativa (-). En este proyecto, en lugar de diodos individuales, se ha optado por utilizar puentes rectificadores **integrados**, los cuales, como su nombre lo indica, se consiguen comercialmente en un solo paquete que es más práctico y fácil de usar.

El voltaje de CC pulsante, obtenido a la salida de cada uno de los rectificadores, debe ser aplicado a un **filtro** para suavizarlo, es decir, convertirlo en un nivel de CC uniforme, **figura 10.5**. La función del filtrado la efectúa en cada caso un **condensador**, el cual se carga al valor pico del voltaje pulsante a medida que éste aumenta y se descarga lentamente a medida que éste disminuye.

Como resultado de este proceso, el voltaje a la salida del filtro no permanece constante, sino que presenta unas ondulaciones o variaciones de amplitud, las cuales pueden ser pequeñas o grandes dependiendo de la corriente exigida por la carga. Estas ondulaciones, denominadas **voltaje de rizado** o **ripple**, no son admitidas por ciertos componentes y circuitos electrónicos, los cuales requieren un voltaje constante para operar.

Esto se consigue conectando a la salida de cada filtro un **regulador** de voltaje, el cual se encarga de mantener constante el voltaje de salida aplicado a la carga, a pesar de las variaciones del voltaje de entrada. En nuestro caso se utilizan reguladores de voltaje integrados **de tres terminales**, los cuales son muy seguros y fáciles de usar. En la **figura 10.6** se muestra el diagrama esquemático completo de la fuente regulada.

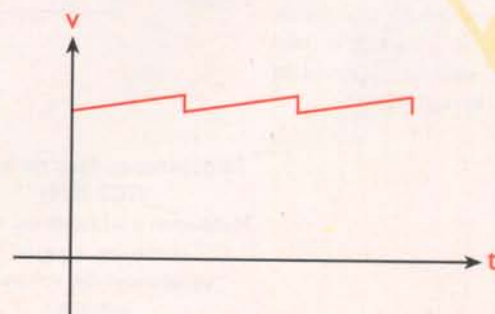


Figura 10.5. Forma de onda del voltaje de salida obtenido a la salida del rectificador con la presencia del filtro.

Puentes rectificadores (BR1-BR3)

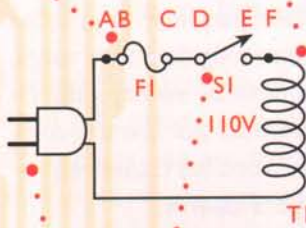
Convierten los voltajes de CA, obtenidos a la salida del transformador de potencia, en voltajes de CC mediante un proceso conocido como **rectificación**.

Transformador de potencia

Toma el voltaje de CA a través de su bobina primaria y lo convierte en cuatro tensiones en el secundario, así: dos de 13V CA, una de 7V CA y una de 19V CA. Todas tienen una capacidad de 1A

Fusible

Protege al circuito de los excesos de corriente.



Interruptor

Interruptor general del circuito.

Cable de alimentación y enchufe

Permiten conectar la fuente a la toma de corriente alterna.

Condensadores de filtro (C1, C4, C6, C7)

Son empleados con el fin de mejorar la calidad de la señal de CC, obtenida después de la rectificación.

Regulador variable de voltaje

Es el encargado de entregar y mantener estable un voltaje determinado, cuyo nivel puede ser ajustado entre 1,2V y 25V.

Diodos rectificadores (D1, D2)

Protegen al regulador LM317T contra picos de voltaje inversos, proporcionando un camino alternativo para que los condensadores de salida se descarguen cuando se desconecta la fuente.

R1

Determina junto con P1 el voltaje de salida.

Potenciómetro

Es usado para ajustar el valor adecuado del voltaje de salida.

R2

Limita la corriente que llega al diodo LED, protegiéndolo.

LED

Indica la presencia de voltaje en ese punto.

Condensadores de salida (C3, C5, C8, C9)

Se usan para mejorar la respuesta transitoria de salida, es decir, para mejorar la respuesta del circuito ante los cambios repentinos de la corriente de carga.

Reguladores fijos de voltaje (IC2-IC4)

Mantienen a su salida un nivel de CC constante, a pesar de las variaciones del voltaje de entrada.

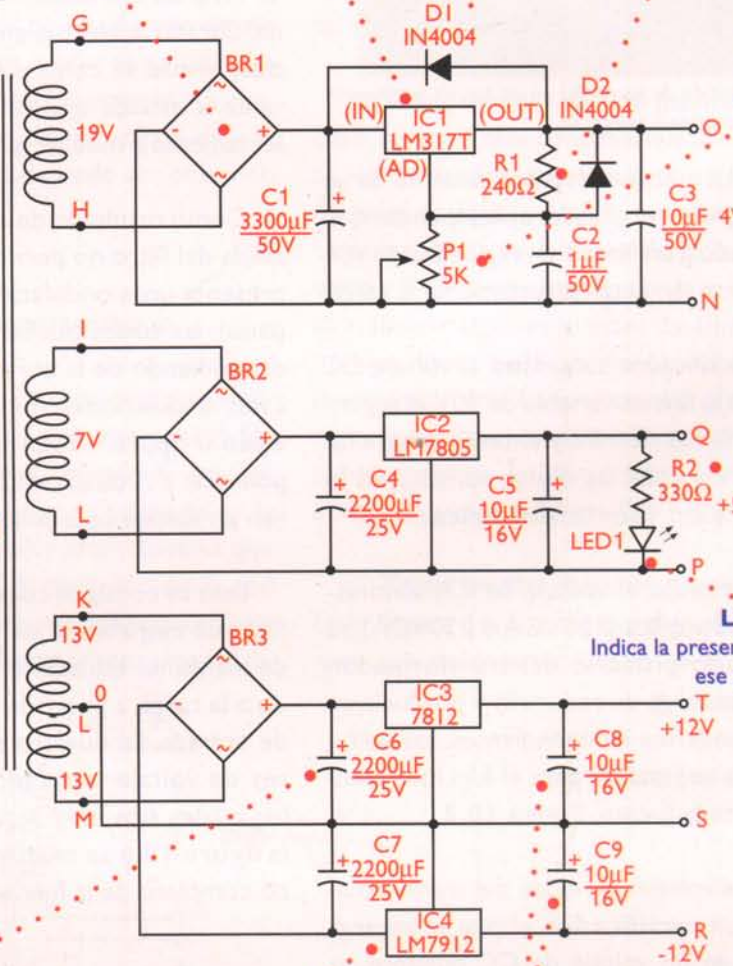


Figura 10.6. Diagrama esquemático de la fuente regulada

Lista de materiales

1. 1 Transformador EF-10 Prim 110V/220V
Sec1: 19V/1A, Sec2:7V/1A,Sec3:13-0-13/1A
2. 3 Puentes rectificadores de 1A Ref.WO6M
3. 1 CI Regulador de +12 V (7812)
4. 1 CI Regulador de -12 V (7912)
5. 1 CI Regulador de +5 V (7805)
6. 1 CI Regulador ajustable LM 317T
7. 1 Resistencia de 240 Ω a 1/2 W
8. 1 Resistencia de 330 Ω a 1/2 W
9. 2 Diodos rectificadores 1N4004
10. 1 Diodo LED rojo de 5mm
11. 1 Potenciómetro lineal de 5 KΩ
12. 1 Fusible corto de 1A
13. 1 Portafusible pequeño para chasis
14. 1 Interruptor de balancín con piloto
15. 3 Cond. electrolíticos de 2.200 uf/25V
16. 1 Cond. electrolítico de 3.300 uf/50V
17. 3 Cond. electrolíticos de 10 uf/16V
18. 1 Cond. electrolítico de 10 uf/50V
19. 1 Cond. electrolítico de 1 uf/50V
20. 25 Conectores para circuito impreso (espadines)
21. 4 Disipadores de calor tipo TO-220
22. 1 Circuito impreso CEKIT Ref. EF-10
23. 1 Chasis CEKIT Ref. EF-10
24. 10 Tornillos de 1/8" x 1/2" con tuerca
25. 2 Tornillos para lámina, pequeños
26. 4 Separadores de plástico de 6 mm
27. 1 Cable de entrada con enchufe
28. 1 Perilla para potenciómetro
29. 1 Portaled para chasis
30. 1 Pasacable de caucho
31. 35 cm de cable rojo AWG No.20
32. 35 cm de cable negro AWG No.20
33. 15 cm de cable ribbon de 5 líneas
34. 4 Bananas hembra rojas para chasis
35. 3 Bananas hembra negras para chasis

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que posee todos los componentes y materiales necesarios, **figura 10.6**. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta. La fuente regulada se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-10, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para las salidas de voltaje reguladas. Una vez ensamblado el circuito impreso, éste se monta sobre el chasis con los conectores, el transformador, y otros elementos que iremos mencionando en el siguiente procedimiento.



Figura 10.6. Componentes que conforman el kit

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre, los diodos y las resistencias, pues son los elementos de menor altura. **Figura 10.7**

Paso 2. Posteriormente instale y suelde los 25 espadines y los tres puentes rectificadores. **Figura 10.8**

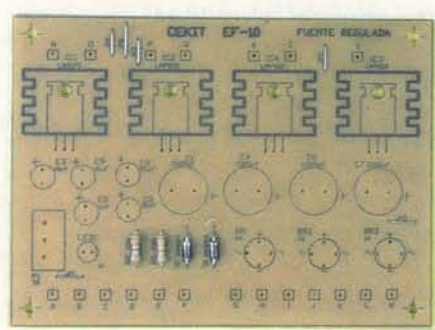


Figura 10.7

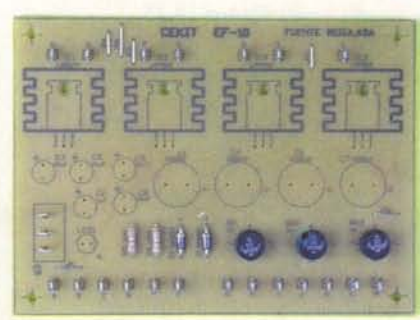
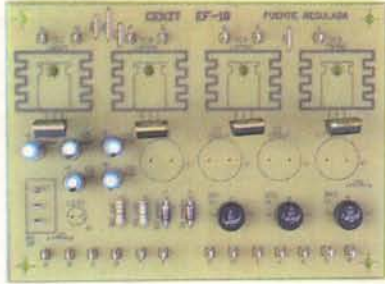
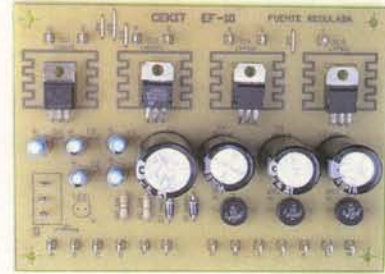


Figura 10.8

Paso 3. Instale y suelde ahora los condensadores electrolíticos C2, C3, C5, C8 y C9, y los cuatro reguladores de voltaje IC1 a IC4.
Figura 10.9



Paso 4. Instale y suelde los condensadores electrolíticos C1, C4, C6 y C7, doble los reguladores de voltaje hacia el circuito impreso e instale en ellos el disipador de calor.
Figura 10.10



Paso 5. Instale las bananas rojas y negras en el chasis según la polaridad del voltaje de salida y verificando que queden aisladas eléctricamente de éste. Por detrás, instale primero una arandela y la primera tuerca, la otra, se utiliza para fijar el borne de conexión, lo cual explicaremos más adelante.
Figuras 10.11 y 10.12



Paso 6. Instale en la parte posterior del chasis el pasacable de caucho que protege el cable de entrada.
Figura 10.13



Paso 7. Instale en la parte posterior del chasis el portafusible. Por detrás, coloque primero la arandela de plástico y luego la tuerca.
Figura 10.14



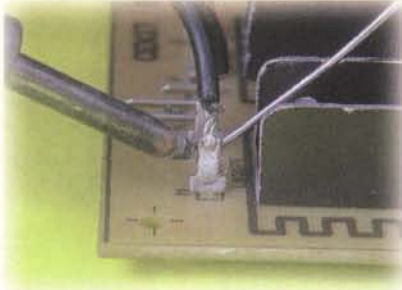
Paso 8. Instale a presión, el interruptor principal con el punto blanco hacia arriba.
Figura 10.15



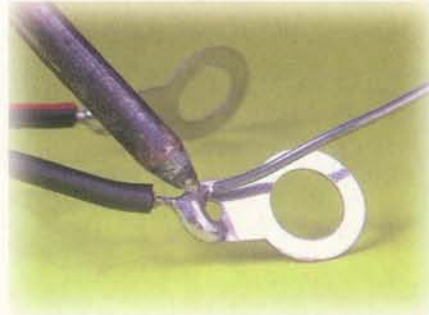
Paso 9. Instale a presión, el portaled en la perforación que está sobre el interruptor.
Figura 10.16



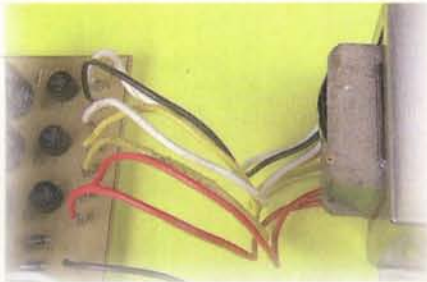
Paso 10. Instale y suelde en cada uno de los espadines de las salidas de voltaje CC, un cable de 6 cm ya sea negro o rojo según la polaridad. **Figura 10.17**



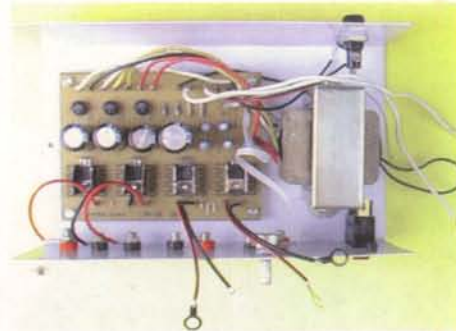
Paso 11. Suelde en el otro extremo de estos cables los terminales que van a las bananas. **Figura 10.18**



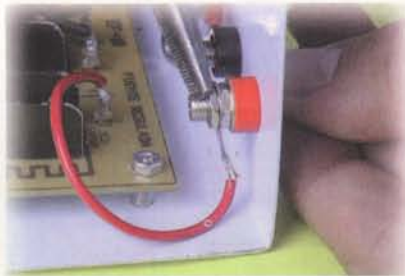
Paso 12. Suelde los siete cables de los tres secundarios del transformador a los espadines para las entradas de CA, así: blanco (M), negro (L), blanco (K), amarillos (I, J) y rojos (H, G). **Figura 10.19**



Paso 13. Instale ahora el circuito impreso utilizando los separadores de plástico y los tornillos de 1/8 " x 1/2 ". Luego instale el transformador con otros dos tornillos similares. **Figura 10.20**



Paso 14. Inserte los terminales de cada una de las salidas de CC en la parte posterior de las bananas e inserte la otra tuerca apretando bien. **Figura 10.21**



Paso 15. Instale ahora el potenciómetro fijándolo, en lo posible, con dos tuercas: una por dentro y otra por fuera. **Figura 10.22**



Paso 16. Inserte el cable de entrada por el pasacable dejando unos 12 cm libres. Haga un nudo con él para que no se salga. Suelde uno de los cables de éste al primario del transformador, utilizando espagueti termoencogible para aislar el empalme. Éste se puede calentar con el cautín. **Figuras 10.23, 10.24 y 10.25**



Paso 17. Conecte los cables que van del circuito impreso al portafusible, interruptor general y a la otra línea del primario del transformador. **Figura 10.26**



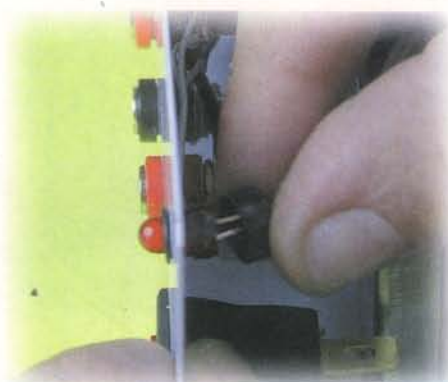
Paso 18. Suelde el otro extremo de los cables que van al interruptor general. **Figura 10.27**



Paso 19. Suelde un cable ribbon de dos líneas a los espadines por los cuales se alimenta el diodo LED y el otro extremo a éste, observando la polaridad (A y K). Inserte antes la parte posterior del portaled. **Figura 10.28**



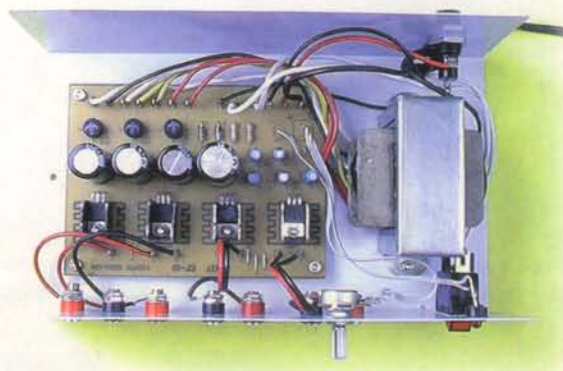
Paso 20. Inserte ahora el diodo LED en el portaled y ajuste la parte posterior para que quede firme. **Figura 10.29**



Paso 21. Conecte ahora un cable ribbon de tres líneas en los espadines destinados al potenciómetro y el otro extremo a los terminales de éste. Revise cada una de las conexiones. **Figura 10.23**



Éste es el aspecto final que presenta la fuente de poder terminada. Antes de instalar la tapa, se debe hacer la prueba final. **Figura 10.24**



Prueba final

Utilizando un multímetro análogo o digital, mida cada una de las salidas así: +12V y -12V utilizando la tierra común de esta salida doble. Luego mida la salida de +5V y por último, la salida variable, la cual debe entregar de 1,2 a 20V aproximadamente, cuando hacemos girar la perilla reguladora en todo su recorrido. Si el voltaje empieza alto y disminuye, se deben intercambiar las conexiones de los extremos del potenciómetro. Si alguna salida no entrega voltaje, revise cada una de las conexiones y los componentes del circuito, utilizando el diagrama esquemático y un multímetro.



Proyecto II

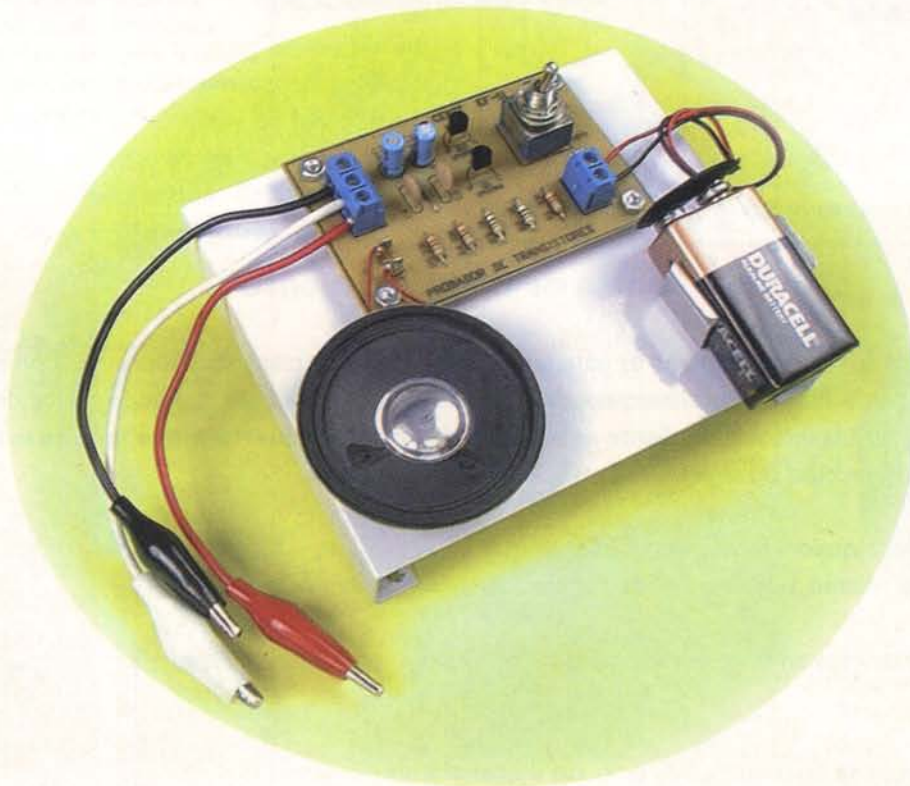
Probador de transistores

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

Uno de los componentes de mayor uso en electrónica es el transistor; él marcó el principio de la electrónica moderna y en la actualidad es ampliamente utilizado en una gran cantidad de circuitos electrónicos. Por esta razón es conveniente que todo aficionado a la electrónica tenga a su alcance un instrumento que le permita enterarse de forma fácil y rápida si estos componentes se encuentran en buen o en mal estado.



El circuito que presentamos a continuación es muy útil como probador de transistores, el cual, en un solo paso, le indica mediante la emisión de un tono si el transistor sometido a prueba está bueno o malo. En la **figura 11.1** se muestra el diagrama esquemático del circuito.

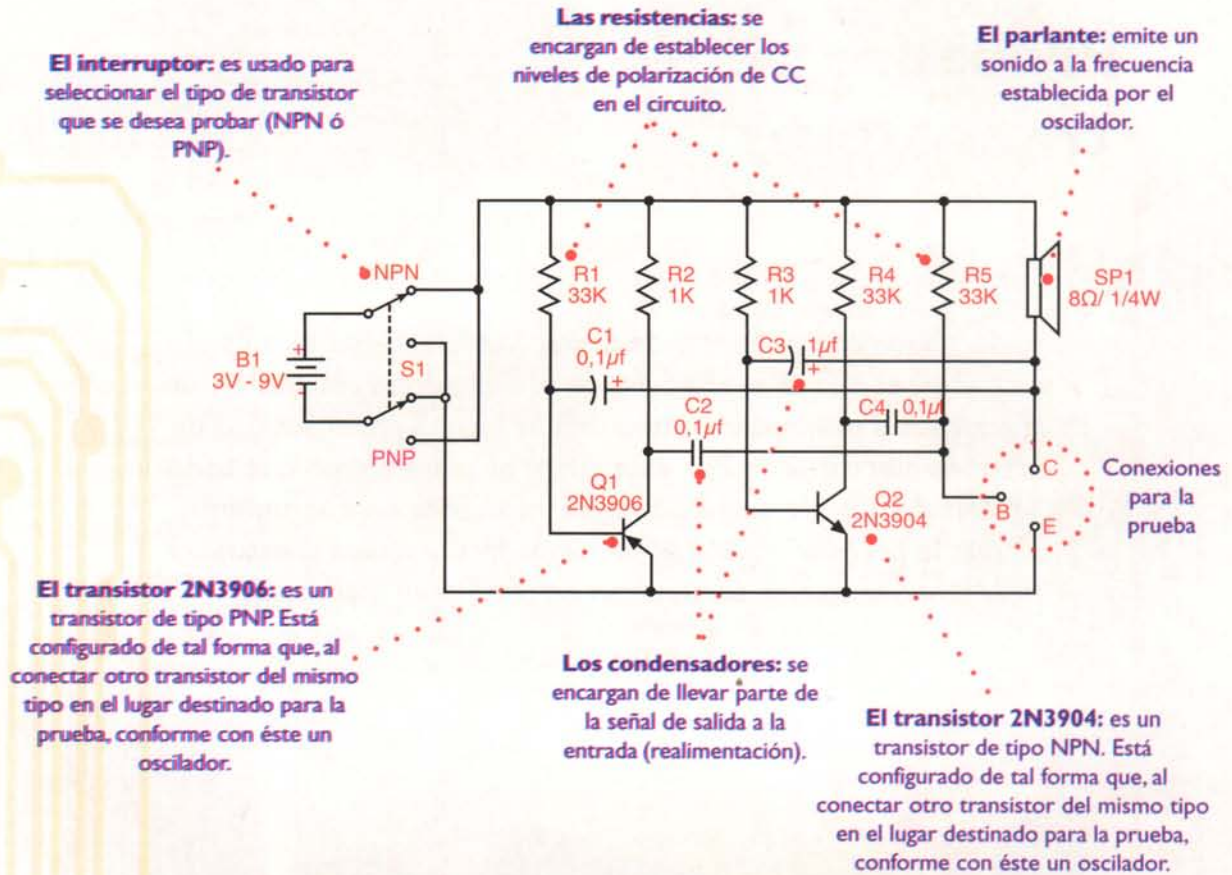


Figura 11.1. Diagrama esquemático del probador de transistores

Teoría de funcionamiento

El circuito probador de transistores es básicamente un oscilador transistorizado, que, como su nombre lo indica, cambia de estado continuamente debido a que se realimenta tomando parte de la señal de salida y llevándola a la entrada mediante condensadores. Este circuito transistorizado se estudiará detalladamente en la sección de teoría.

Una vez seleccionado el tipo de transistor que desea probar, y de acuerdo a las condiciones en que se encuentre el mismo, puede presentarse una de las siguientes opciones:

Si el transistor está en buen estado, se escucha un tono agudo, debido a que éste completa el circuito oscilador.

Si el transistor se encuentra averiado, no escuchará ningún sonido.



Lista de materiales

1. 1 Transistor NPN 2N3904
2. 1 Transistor PNP 2N3906
3. 2 Condensadores electrolíticos de 1μf/16V
4. 2 Condensadores cerámicos de 0,1μf/50V
5. 2 Resistencias de 1KΩ a 1/4W
6. 3 Resistencias de 33KΩ a 1/4 W
7. 1 Conector para batería de 9V
8. 1 Parlante de 8Ω a 0,25W
9. 1 Interruptor de codillo doble de 3 posiciones (6 pines miniatura)
10. 1 Soporte para batería de 9V
11. 1 Conector de 3 tornillos
12. 1 Conector de 2 tornillos
13. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-11
14. 1 Chasis CEKIT referencia EF-11
15. 4 Tornillos de 3 x 15 mm con tuerca
16. 2 Tornillos de 3 x 7 mm con tuerca
17. 4 Separadores plásticos de 5 mm
18. 3 Caimanes de diferente color (rojo, negro, blanco)
19. 4 Segmentos de 20 cm de cable AWG-20 de diferente color (rojo, negro, blanco)
20. 2 Conectores para circuito impreso (espadines)

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta. **Figura 11.2**

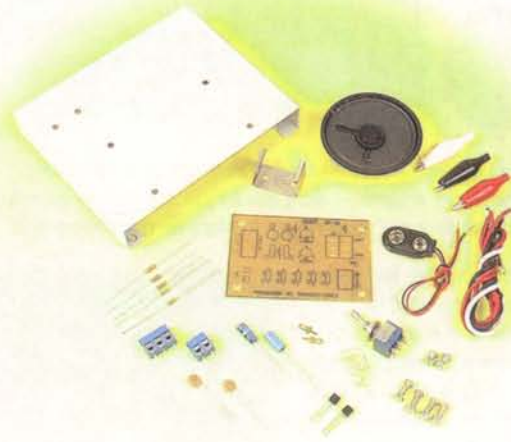


Figura 11.2. Componentes que conforman el kit

El probador de transistores se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-11, en el cual se indican la posición de los componentes. Además, se incluyen las conexiones externas del parlante, de la batería de 9V y del transistor que se desea probar. **Figura 11.3**

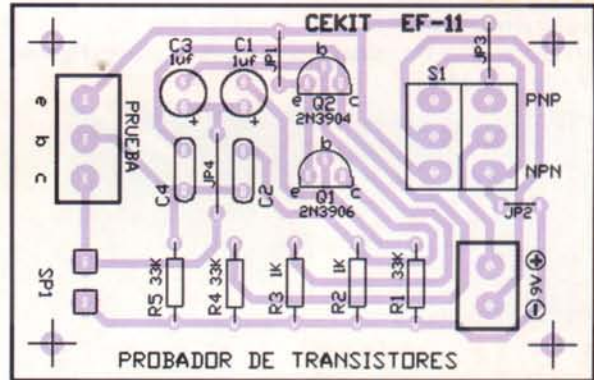
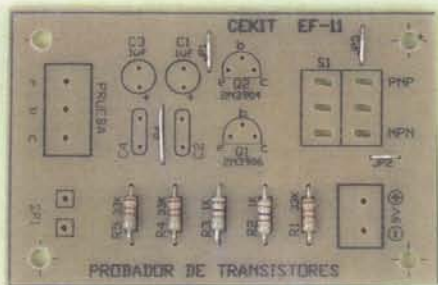


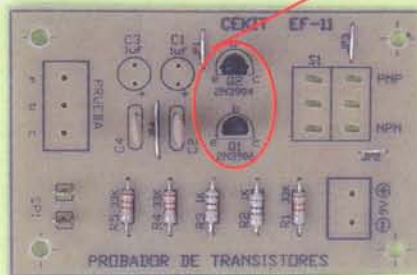
Figura 11.3. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los cuatro puentes de alambre y las cinco resistencias, pues son los elementos de menor altura. **Figura 11.4**

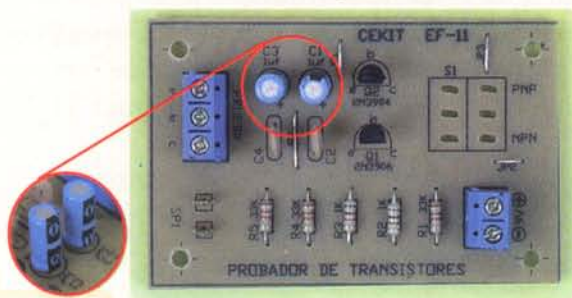


Paso 2. Posteriormente suelde los transistores, los espadines, y los condensadores cerámicos de 0,1μf. **Figura 11.5**



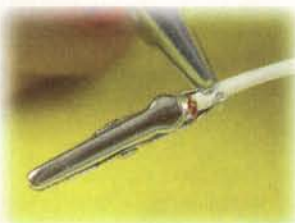
Recuerde que el lado plano de los transistores debe coincidir con el que se encuentra dibujado en el circuito impreso.

Paso 3. Luego instale los conectores de 2 y 3 tornillos, y los condensadores electrolíticos de 1uf. **Figura 11.6.**



Recuerde que en los condensadores electrolíticos el terminal identificado con el signo (-) debe quedar ubicado al lado opuesto del identificado con el signo (+), en la placa de circuito impreso.

Paso 5 Ensamble los cables con los que sujetará los transistores que serán sometidos a prueba; para ello tome cada segmento de cable y en uno de sus extremos suelde un caimán (del mismo color del cable). **Figura 11.8**



Paso 7. Para instalar el circuito en el chasis, asegure bien el circuito impreso mediante tornillos; recuerde que el impreso debe quedar separado del chasis unos 5mm para evitar un cortocircuito, para ello utilice los separadores de plástico. **Figuras 11.10a y 11.10b**



Paso 10. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente. De ser así, coloque el interruptor en su punto medio y conecte la batería al circuito; no debe escucharse ningún sonido. Posteriormente, conecte el transistor que desea probar por medio de los caimanes, teniendo en cuenta que sus terminales queden sujetados en el mismo orden indicado sobre la placa del circuito impreso, **figuras 11.13 y 11.14**

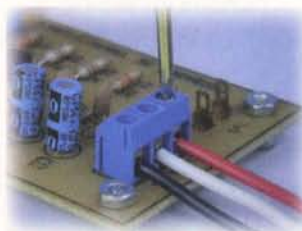
Conmute el interruptor hacia la posición que representa el tipo al cual pertenece el transistor (NPN o PNP). Si el transistor está en buen estado, deberá escuchar un tono agudo; si no escucha nada, esto indicará que el transistor está averiado. **Figura 11.15.** Si lleva el interruptor a la posición que representa el tipo contrario al que pertenece el transistor, no debe escuchar ningún sonido.

Nota: Si no le agrada el tono o la intensidad del sonido que emite el parlante, puede modificarlo a su gusto cambiando su frecuencia; esto puede hacerlo variando los valores de los condensadores C2 y C4. Si instala condensadores de mayor valor (capacidad), la frecuencia será menor y el sonido será más grave; mientras que, si cambia dichos condensadores por unos de menor valor, la frecuencia se hará mayor y por consiguiente el tono será más agudo.

Paso 4. Por último, suelde el interruptor. **Figura 11.7**



Paso 6. Deje libre el otro extremo del cable para que posteriormente lo inserte en los orificios de los conectores de tres tornillos, tal como se indica en la **figura 11.9**



Paso 8. Asegure de la misma forma el soporte para la batería usando para ello los tornillos milimétricos de 3 x 7. **Figura 11.11**



Paso 9. Asegure el parlante directamente al chasis con pegante y conecte sus terminales a los espadines, tal como se observa en la **figura 11.12**



Proyecto 12

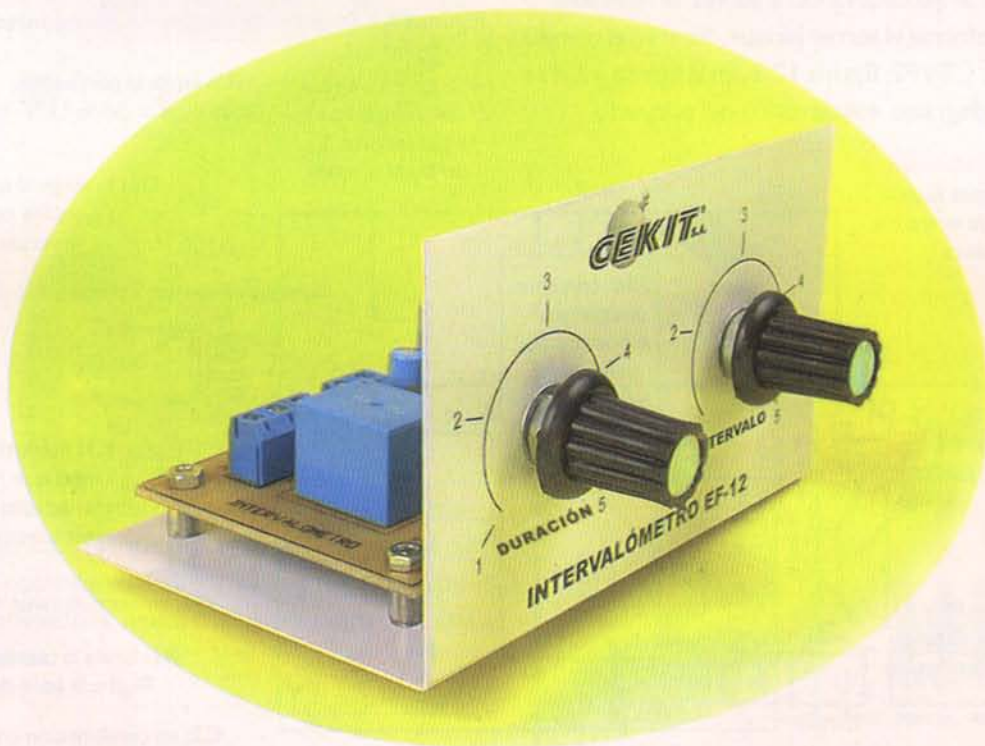
Intervalómetro

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

Este sencillo circuito le permite activar y desactivar permanentemente un relevador cada cierto tiempo. Él controla el tiempo transcurrido entre uno y otro evento, así como el tiempo que desea que permanezca activado.

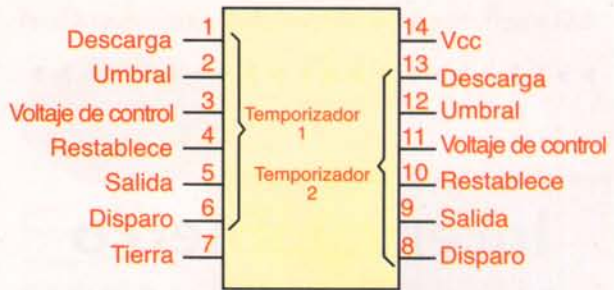


El intervalómetro le brinda la posibilidad de controlar, de manera independiente, no solo la distancia entre los pulsos, sino el tiempo que éste permanece activado. Gracias a esto puede llegar a ser de gran utilidad en sistemas de riego y de enfriamiento, entre otros.

Teoría de funcionamiento

El componente principal de este proyecto es el circuito integrado temporizador 556, el cual contiene dos temporizadores independientes iguales al 555. En la **figura 12.1** se muestran la estructura interna y la distribución de los pines del 556. El intervalómetro está conformado básicamente por tres bloques, tal como se observa en la **figura 12.2**. En el primer bloque se conecta el temporizador 1 del 556 como oscilador, el cual ininterrumpidamente estará entregando a su salida una serie de pulsos cuya separación depende de los valores de C1, P1 y R1; ésta puede controlarse variando el potenciómetro P1.

En el segundo bloque se ha conectado el temporizador 2 como monoestable, él se dispara una vez por ciclo cada que la salida del temporizador 1 cambia del estado bajo al alto activando a su vez el relevador o relé que conforma el tercer bloque, durante el tiempo definido por C2 y P2, **figura 12.3**. En la **figura 12.4** se muestra el diagrama esquemático del proyecto.



Terminales del 556 (nombres)	
Tierra	1
Disparo	2
Salida	3
Restablece	4
Voltaje de control	5
Umbral	6
Descarga	7
Vcc	8

Figura 12.1.



Figura 12.2.



Figura 12.3. Diagrama de tiempos del intervalómetro

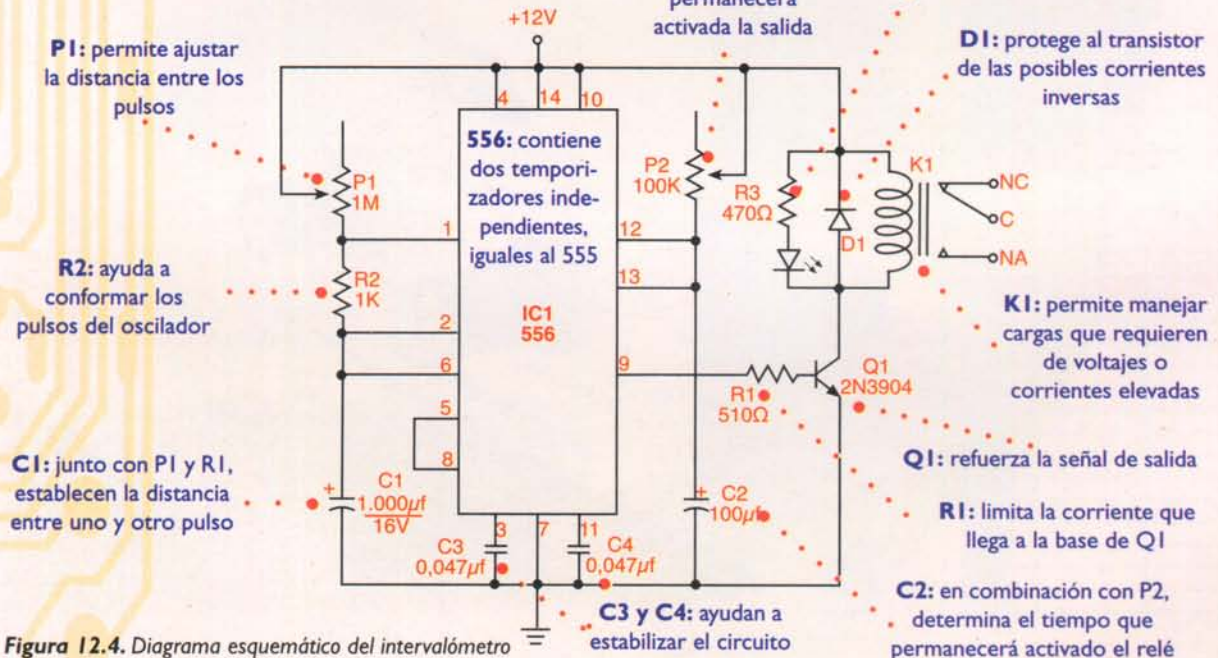
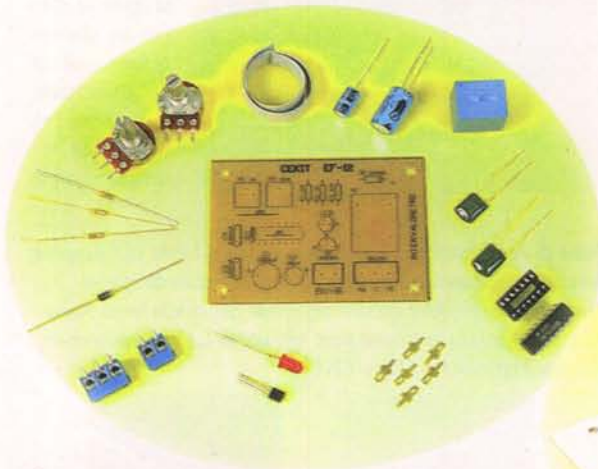


Figura 12.4. Diagrama esquemático del intervalómetro

Nota: si usted necesita que la distancia entre los pulsos, o el tiempo que permanece activada la salida sea mayor al tiempo máximo posible con los componentes originales, basta con cambiar los condensadores C1 y C2 respectivamente por uno de mayor capacidad. Por el contrario, si los tiempos requeridos son menores al tiempo máximo obtenido con el circuito original, bastará con ajustar P1 y P2 hasta obtener los intervalos deseados.

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.



Componentes electrónicos

Figura 12.5. Componentes que conforman el kit



Componentes del chasis

El intervalómetro se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-12, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones necesarias para controlar una carga externa.

Lista de materiales

1. 1 Circuito integrado LM556
2. 1 Base para circuito integrado de 14 pines
3. 1 Condensador electrolítico de 100 μ f/16V
4. 1 Condensador electrolítico de 1000 μ f/16V
5. 2 Condensadores cerámicos de 0,047 μ f/50V
6. 1 Transistor NPN 2N3904
7. 1 Diodo LED rojo de 5mm
8. 1 Diodo rectificador 1N4004
9. 1 Relevador de 12V
10. 1 Conector de 3 tornillos
11. 1 Conector de 2 tornillos
12. 1 Potenciómetro lineal de 1M Ω
13. 1 Potenciómetro lineal de 100K Ω
14. 1 Resistencia de 1 K Ω , 1/4 W
15. 1 Resistencia de 510 Ω , 1/4 W
16. 1 Resistencia de 470 Ω , 1/4 W
17. 6 Conectores para circuito impreso (espadines)
18. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-12
19. 1 Chasis CEKIT referencia EF-12
20. 4 Tornillos de 3 x 15 mm con tuerca
21. 4 Separadores plásticos de 5 mm
22. 2 Perillas para potenciómetro
23. 10 cm de cable ribbon de 6 conductores

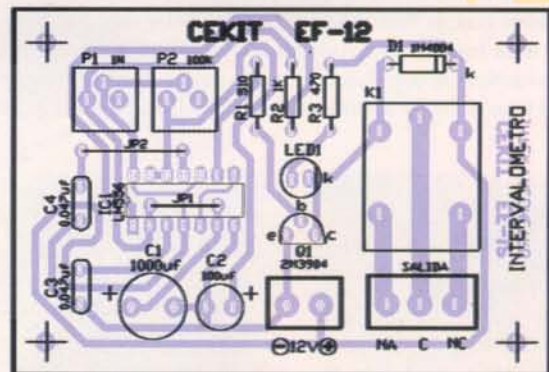
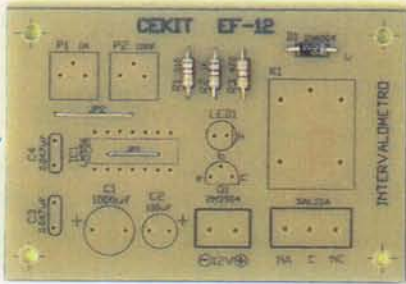


Figura 12.6. Guía de ensamblaje

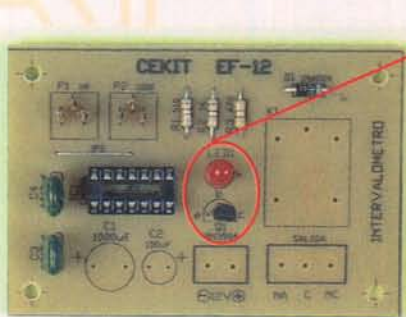
Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Suelde primero los dos puentes de alambre, las tres resistencias y el diodo, ya que estos son los componentes de menor altura. **Figura 12.7**



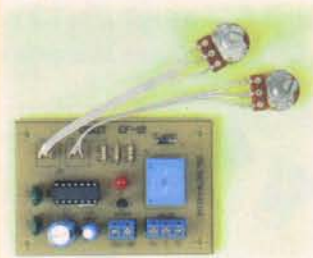
Recuerde que la línea negra dibujada sobre el cuerpo del diodo, debe coincidir con la que se encuentra dibujada en el circuito impreso.

Paso 3. Posteriormente suelde el transistor, los espadines, los condensadores cerámicos y el diodo LED. **Figura 12.9.**

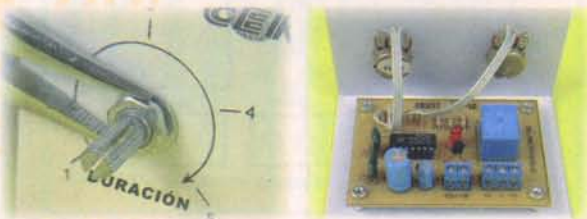


Recuerde que el lado plano del transistor y del diodo LED, deben coincidir con los que se encuentran dibujados en el circuito impreso.

Paso 5. Finalmente conecte los potenciómetros mediante cables e inserte el circuito integrado en la base. **Figura 12.11.**



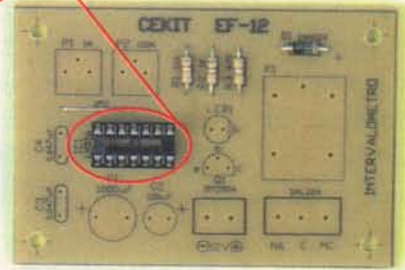
Paso 7. Asegure los potenciómetros al frente del chasis mediante tuercas. Para colocar las perillas de los potenciómetros, lleve éstos hasta su punto mínimo, una vez allí, coloque la perilla asegurándose de que el puntero quede situado justo al principio de la línea marcada alrededor del potenciómetro. **Figura 12.13.**



Paso 2. Luego instale la base para el circuito integrado. **Figura 12.8.**



Recuerde que la ranura debe coincidir con la que está marcada en el circuito impreso.

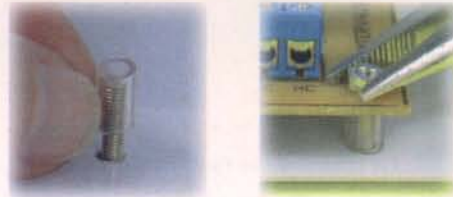


Paso 4. Luego instale los conectores de 2 y 3 tornillos, los condensadores electrolíticos y el relevador de 12V. **Figura 12.10.**



Recuerde que el terminal identificado con el signo (-) debe quedar ubicado al lado opuesto del identificado con el signo (+), en la placa de circuito impreso.

Paso 6. Para instalar el circuito en el chasis, basta con asegurar bien el circuito impreso mediante tornillos, recuerde que el circuito impreso debe quedar separado del chasis unos 5mm para evitar un cortocircuito; para ello utilice los separadores de plástico. **Figuras 12.12a y 12.12b**



Paso 8. Le sugerimos a usted, amigo lector, que según las marcas hechas alrededor de los potenciómetros, cree una tabla especificando la distancia que hay entre uno y otro disparo y el tiempo que permanece en estado alto. Cuanta más precisión requiera, más marcas deberá hacer. **Figura 12.14.**

	Posiciones		Duración	Distancia
	P1	P2		
1	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
2	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
3	1			
	2			
	3			
	4			



Proyecto 13

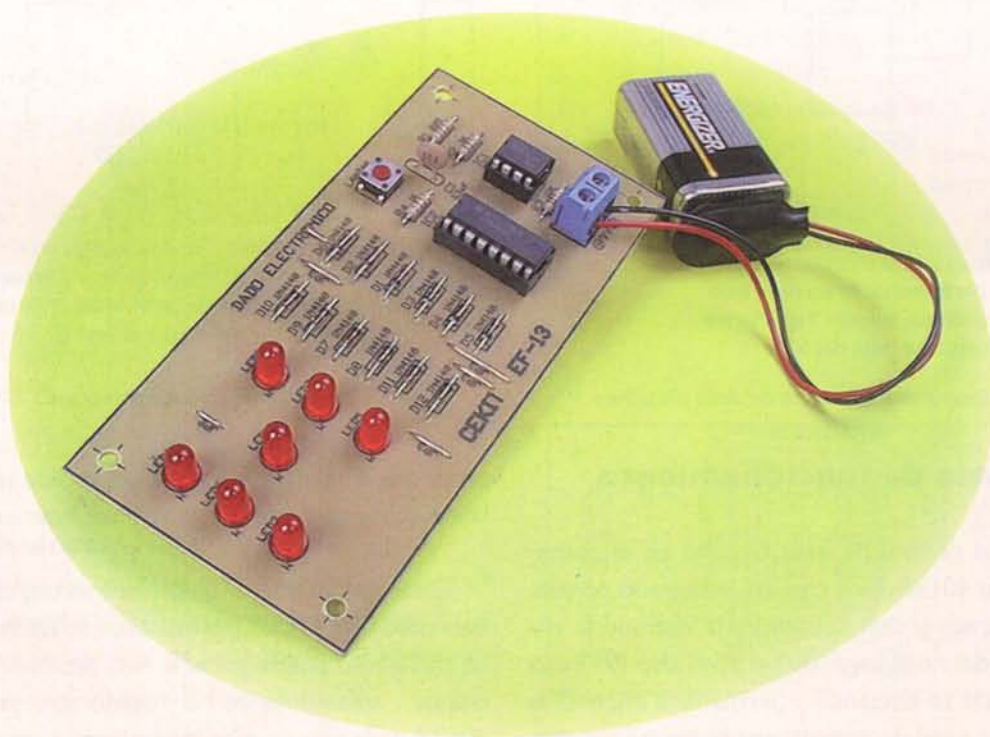
Dado electrónico

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 1:00 hora

El circuito que presentamos a continuación sustituye los tradicionales dados y la forma de jugarlos; ahora, en lugar de agitarlos fuertemente entre sus manos para luego lanzarlos y dejarlos rodar hasta que se detengan, sólo tendrá que presionar un pequeño botón y soltarlo cuando desee ver el resultado.



El dado es uno de los juegos más antiguos conocidos por la humanidad, el cual prácticamente no ha sufrido ninguna mejora o perfeccionamiento en sus reglas o formas de juego. Sin embargo, no ha logrado escapar de la electrónica, la cual ha venido introduciéndose poco a poco en los juegos tradicionales, perfeccionándolos.

Este circuito es totalmente inofensivo y seguro, la probabilidad de que se encienda cualquiera de sus posibles combinaciones (puntuaciones) es idéntica, por lo que el juego está libre de trampas; además, ofrece muchas ventajas sobre los dados tradicionales, entre ellas podemos destacar que nunca se extraía debajo de la mesa, nunca cae en posiciones absurdas por haber quedado recostado en algo que esté sobre la mesa, y además, los niños no pueden tragarlo. En la **figura 13.1** se observa el diagrama esquemático del circuito.

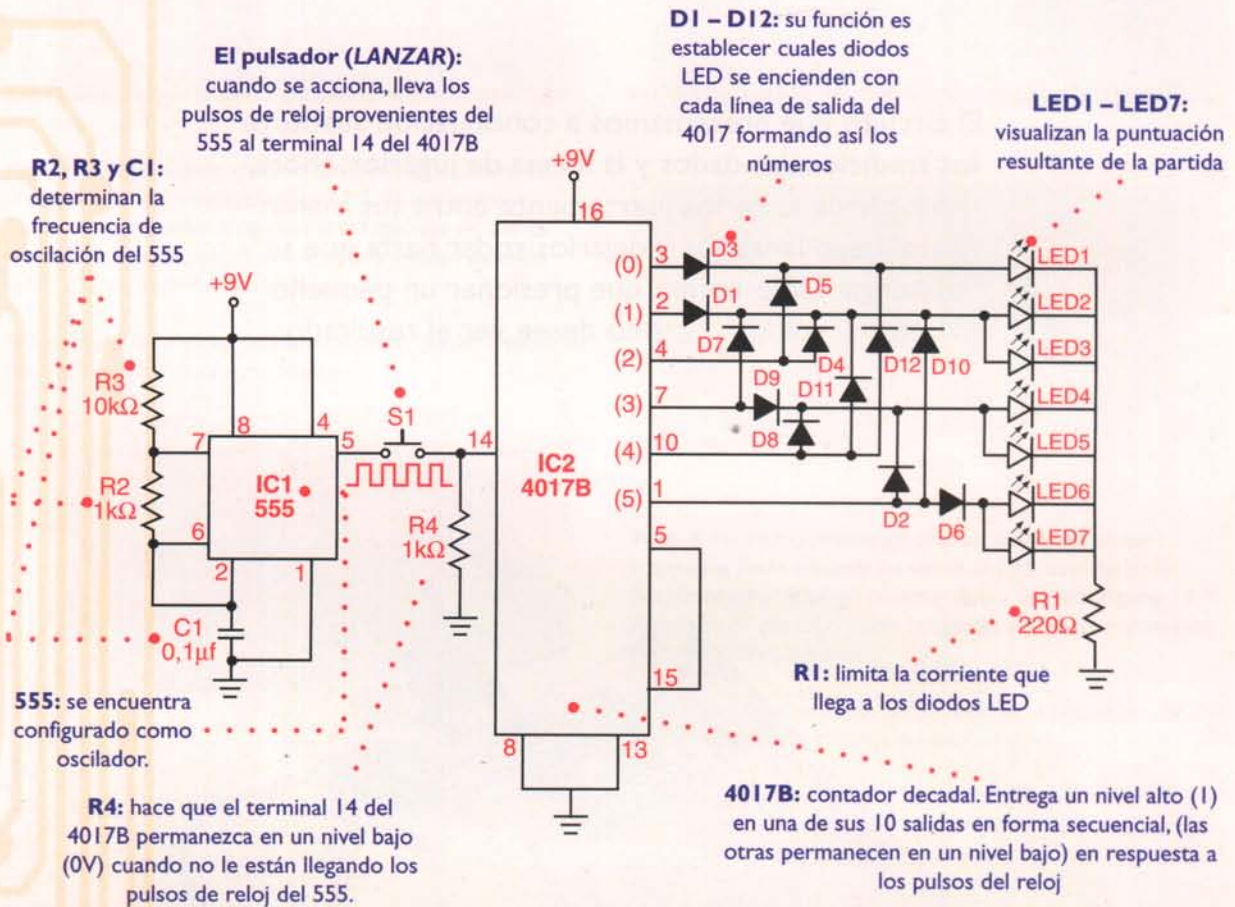


Figura 13.1. Diagrama esquemático del dado electrónico

Teoría de funcionamiento

El elemento central de este circuito es el contador decadal 4017B. Este circuito integrado contiene una entrada y diez salidas; cada vez que la entrada pasa del nivel bajo (0V) al nivel alto (9V) una de sus salidas se enciende y permanece encendida hasta que el nivel de entrada sea nuevamente alto,

entonces la salida que estaba encendida se apaga y la siguiente se enciende, y así sucesivamente.

Es necesario aclarar que, mientras una salida está encendida, las demás permanecen apagadas. Como un dado sólo puede generar seis posibles "puntuaciones", solamente se han usado seis salidas del 4017B, cada una de ellas equivalente a un puntaje.

Como para la visualización de las diferentes puntuaciones deben usarse los mismos diodos LED, se usan otros diodos de conmutación rápida (D1 - D12) con el fin de que dirijan las señales y establezcan cuales diodos LED deben encenderse. Al mismo tiempo, protegen al 4017 de las corrientes inversas y evitan que se enciendan todos los diodos LED que están relacionados, cada vez que una salida del 4017 se activa.

El circuito encargado de generar la señal de entrada está fabricado con el C.I. 555. Éste entrega a la salida una serie de pulsos cuya frecuencia es lo suficientemente alta como para que no pueda ser percibida por los jugadores. Esta señal solo llega al 4017B mientras se pulsa el botón LANZAR; al soltar éste queda activada una de sus salidas indicando la puntuación obtenida; dicha puntuación se visualiza mediante un conjunto de diodos LED los cuales se han dispuesto tal como aparece en un dado tradicional, **figura 13.2**. De esta forma se conserva la esencia del juego.

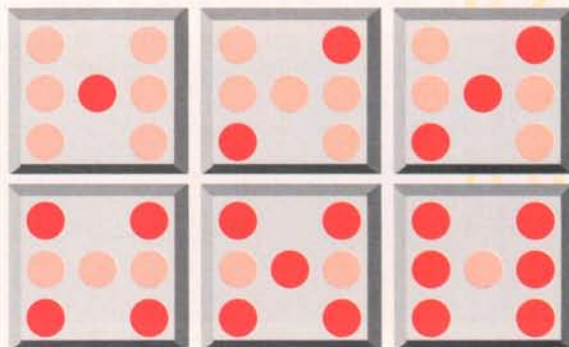


Figura 13.2. Posibles combinaciones resultantes

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.

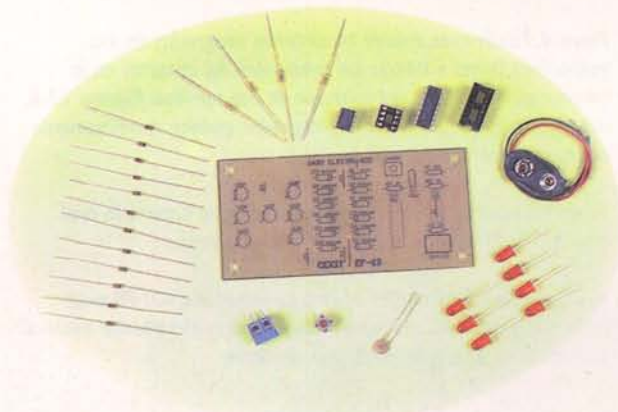


Figura 13.3. Componentes que conforman el kit

Lista de materiales	
1.	1 Circuito integrado 555
2.	1 Circuito integrado 4017B
3.	1 Base para circuito integrado de 8 terminales
4.	1 Base para circuito integrado de 16 terminales
5.	1 Condensador cerámico de 0,1uf/50V
6.	2 Resistencias de 1 KΩ, 1/4 W
7.	1 Resistencia de 10 KΩ, 1/4 W
8.	1 Resistencia de 220 Ω, 1/4 W
9.	1 Pulsador miniatura
10.	1 Conector para batería de 9V
11.	7 Diodos LED rojos de 5 mm
12.	12 Diodos 1N4148
13.	1 Conector de 2 tornillos
14.	1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-13

Guía de ensamblaje

El probador de transistores se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-13, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluye la conexión para la batería de 9V.

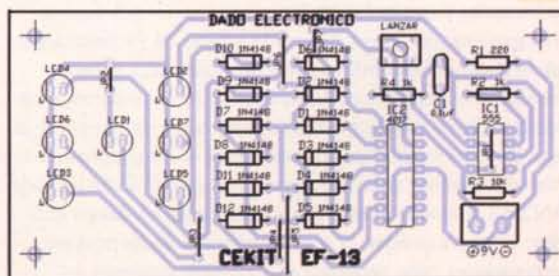
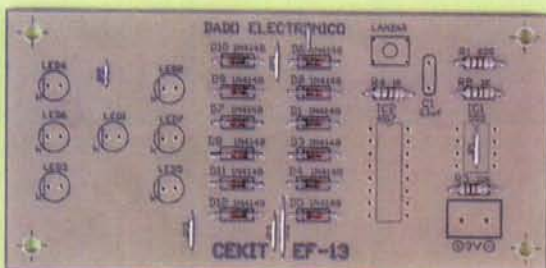


Figura 13.4. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre, los diodos 1N4148, y las resistencias, en el orden indicado, ya que éstos son los elementos de menor altura. **Figura 13.5**

Verifique que la línea marcada sobre el cuerpo de los diodos coincida con la dibujada sobre la placa del circuito impreso.



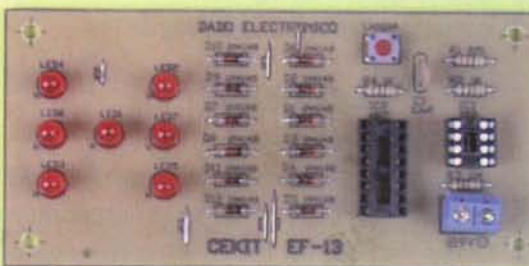
Paso 2. Luego instale el pulsador y las bases para los circuitos integrados. **Figura 13.6.**

Recuerde que la ranura que tienen las bases de los circuitos integrados debe quedar ubicada en la misma posición que la dibujada sobre la placa del circuito impreso.



Paso 3. Posteriormente suelde el condensador, los diodos LED y el conector de dos tornillos. **Figura 13.7.** Es indiferente la posición en que instale el condensador. Asegúrese de que los diodos LED queden ubicados en la misma posición indicada sobre la placa de circuito impreso.

Recuerde que los orificios del conector deben quedar orientados hacia el borde del circuito impreso.

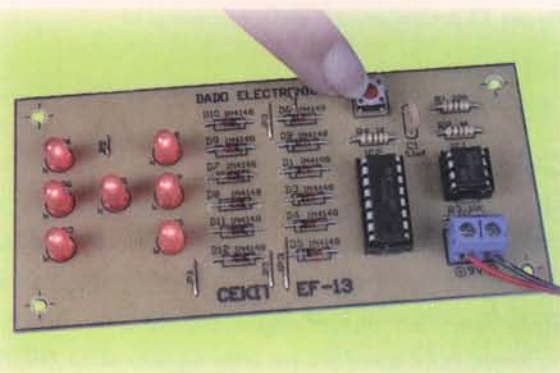


Paso 4. Finalmente, instale los circuitos integrados en sus respectivas bases e inserte los terminales del conector de la batería en los orificios del conector de dos tornillos. **Figura 13.8.** Asegúrese de que los circuitos integrados queden correctamente orientados sobre sus bases.

Tenga especial cuidado con la polaridad de la batería la cual está marcada sobre la placa de circuito impreso.

Precaución: al manipular el circuito integrado 4017B evite tocar sus terminales con los dedos, ya que la electricidad estática contenida en ellos puede llegar a averiarlo.

Paso 5. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente la posición de cada uno de los componentes y que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente; de ser así, conecte la batería de 9V en su lugar; una de las posibles combinaciones de diodos LED deberá encenderse marcando una puntuación. Esto corresponde a un dado tradicional detenido sobre la mesa antes de comenzar el juego. Una vez hechas las apuestas (si es el caso), para lanzar el dado cada jugador debe presionar a su turno el botón llamado LANZAR. Mientras él está presionado, todos los diodos LED deben estar encendidos; al soltarlo, solo una de las posibles combinaciones debe permanecer encendida indicando la puntuación obtenida, y así sucesivamente. Si esto no sucede, revise nuevamente todo el procedimiento seguido hasta ahora.





Proyecto 14

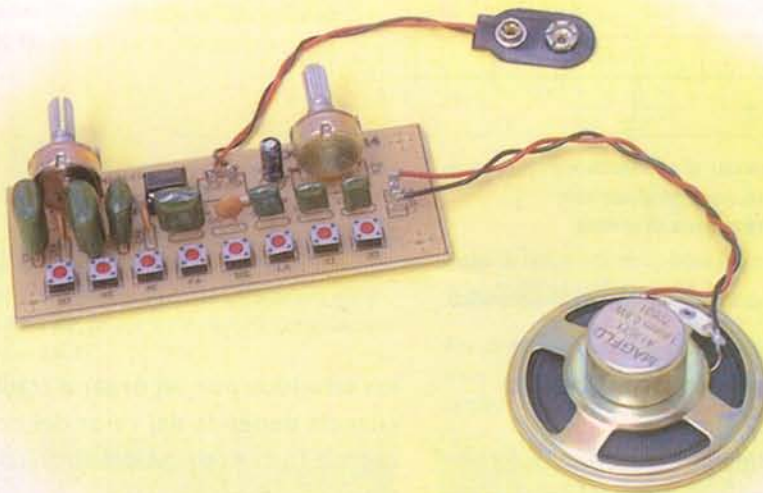
Miniórgano electrónico

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

Los proyectos que involucran sonidos de cualquier tipo, resultan muy llamativos para los aficionados a la electrónica. Los circuitos y aparatos diseñados para producir señales musicales, es decir, aquellos sonidos cuya frecuencia corresponde a las notas musicales, son una aplicación muy importante de los osciladores. El circuito que presentamos a continuación, es un pequeño órgano electrónico experimental que genera sonidos similares a los que se obtienen en un piano cuando se presionan las teclas de la octava central.



El órgano ha sido uno de los instrumentos musicales que más se ha sometido a cambios e innovaciones, pero conservando siempre la misma forma de accionamiento, la cual consiste en presionar una tecla para escuchar el sonido deseado.

Un órgano está conformado básicamente por un conjunto de osciladores que generan los sonidos musicales; la principal diferencia entre uno electrónico y uno de viento tradicional, es que en el primero los sonidos son producidos por la vibración de la membrana de un parlante al aplicarle la señal proveniente de un oscilador, mientras que en el otro la oscilación se produce por la vibración de una laminilla en uno de los tubos al paso del aire. Los primeros órganos electrónicos que se fabricaron eran contruirdos con tubos de vacío por lo cual eran muy grandes y tenían un alto consumo de energía, pero en la actualidad se fabrican con transistores y circuitos integrados lo que permite que sean cada vez más pequeños.

En la **figura 14.1** se observa el diagrama esquemático del miniórgano electrónico.

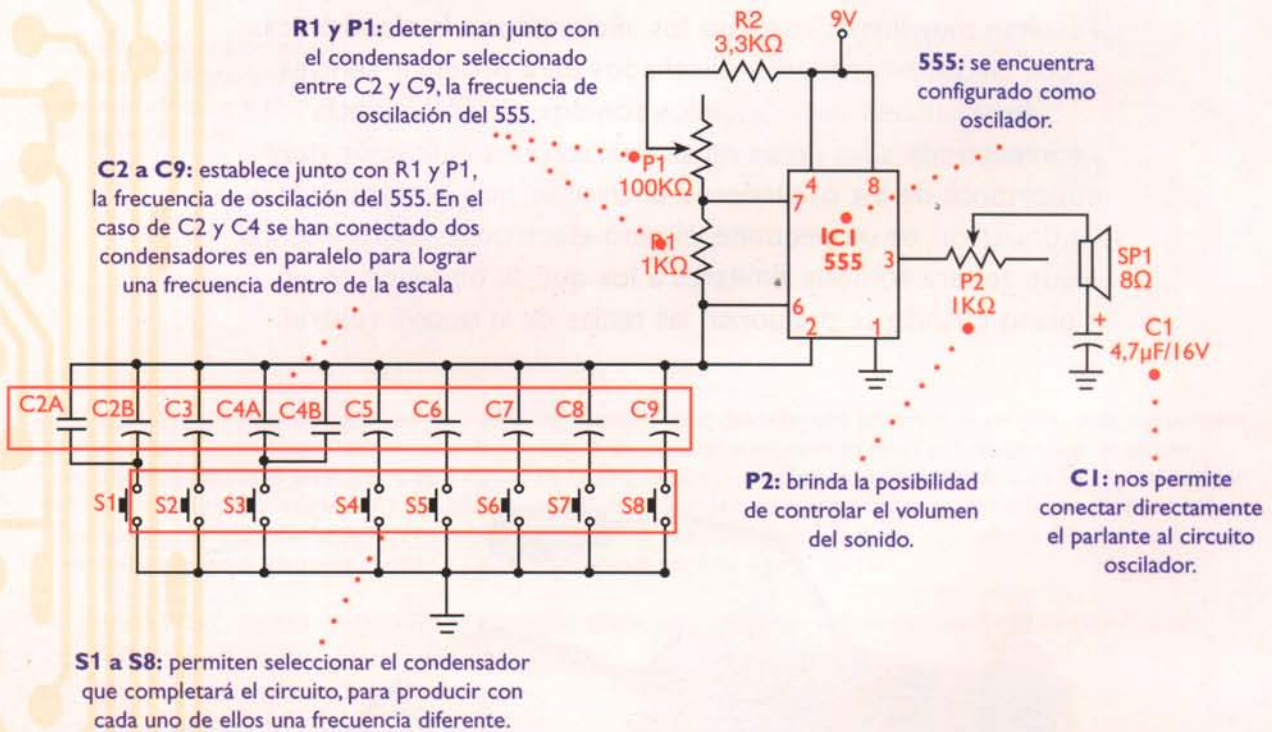


Figura 14.1. Diagrama esquemático del miniórgano electrónico

Teoría de funcionamiento

El miniórgano electrónico está conformado por un sencillo oscilador construido con un circuito integrado 555 que se alimenta con un batería de 9VCC, y produce una señal de onda cuadrada cuya frecuencia permite que la membrana del parlante produzca sonidos parecidos a

los emitidos por un órgano tradicional. Esta frecuencia depende del valor del condensador que entra a formar parte del circuito cuando se presiona una tecla.

Debido a su reducido tamaño, este circuito puede ser usado como un juguete, o también permite incursionar en otras áreas.

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los materiales necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

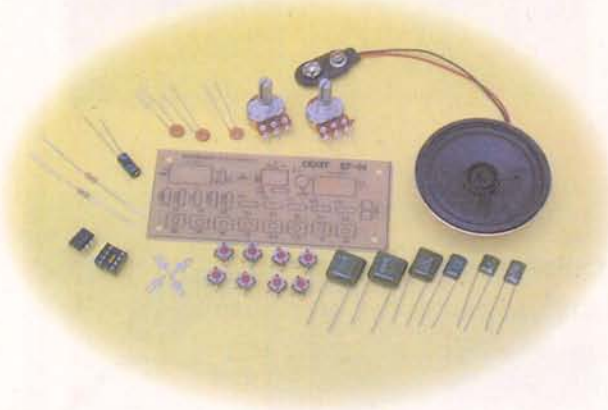


Figura 14.3. Componentes que conforman el kit

Lista de materiales

1. 1 Circuito integrado 555 (IC1)
2. 1 Base para circuito integrado de 8 pines
3. 1 Potenciómetro de 100K Ω (P1)
4. 1 Potenciómetro de 1K Ω (P2)
5. 1 Condensador electrolítico de 4,7 μ F/16V (C1)
6. 2 Condensadores cerámicos de 0,47 μ F (474) (C2A y C3)
7. 3 Condensadores cerámicos de 0,1 μ F (104) (C2B, C4B y C6)
8. 2 Condensadores cerámicos de 0,22 μ F (224) (C4A y C5)
9. 1 Condensador cerámico de 0,047 μ F (473) (C7)
10. 1 Condensador cerámico de 0,033 μ F (333) (C8)
11. 1 Condensador cerámico de 0,022 μ F (223) (C9)
12. 1 Resistencia de 3.3K Ω , 1/4 W (R2)
13. 1 Resistencia de 1K Ω , 1/4 W (R1)
14. 8 Pulsadores pequeños de 4 terminales (S1 a S8)
15. 1 Parlante de 8 Ω a 0,25W
16. 4 Conectores para circuito impreso (espadines)
17. 1 Conector para batería de 9V
18. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-14

El miniórgano electrónico se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-14, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la batería de 9V y el parlante.

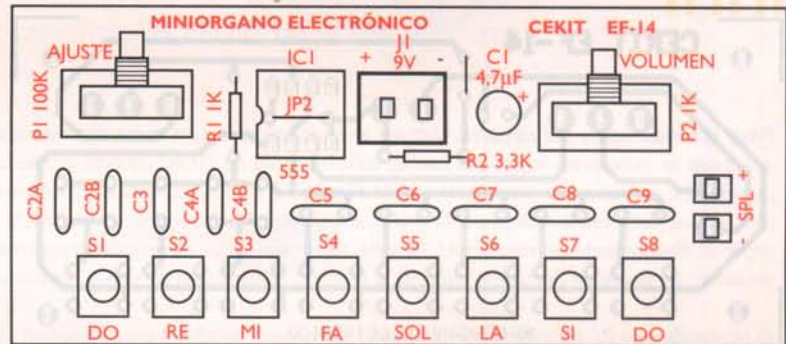
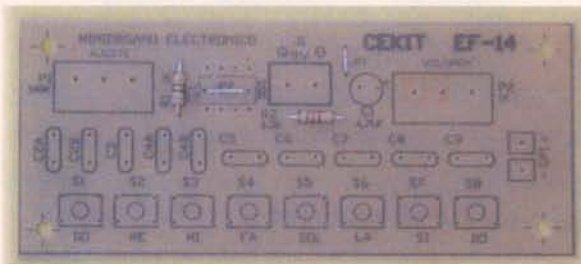


Figura 14.4. Guía de ensamblaje

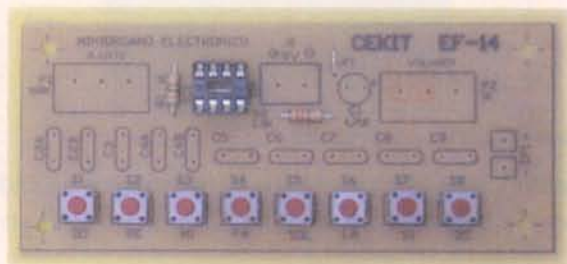
Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre JP1 y JP2 y las resistencias R1 y R2, ya que éstos son los componentes de menor altura. **Figura 14.5**



Paso 2. Luego instale la base para el circuito integrado y los ocho pulsadores. **Figura 14.6.**

Recuerde que la ranura que tiene la base del circuito integrado debe quedar ubicada en la misma posición que la dibujada sobre la placa del circuito impreso.



Proyecto 15

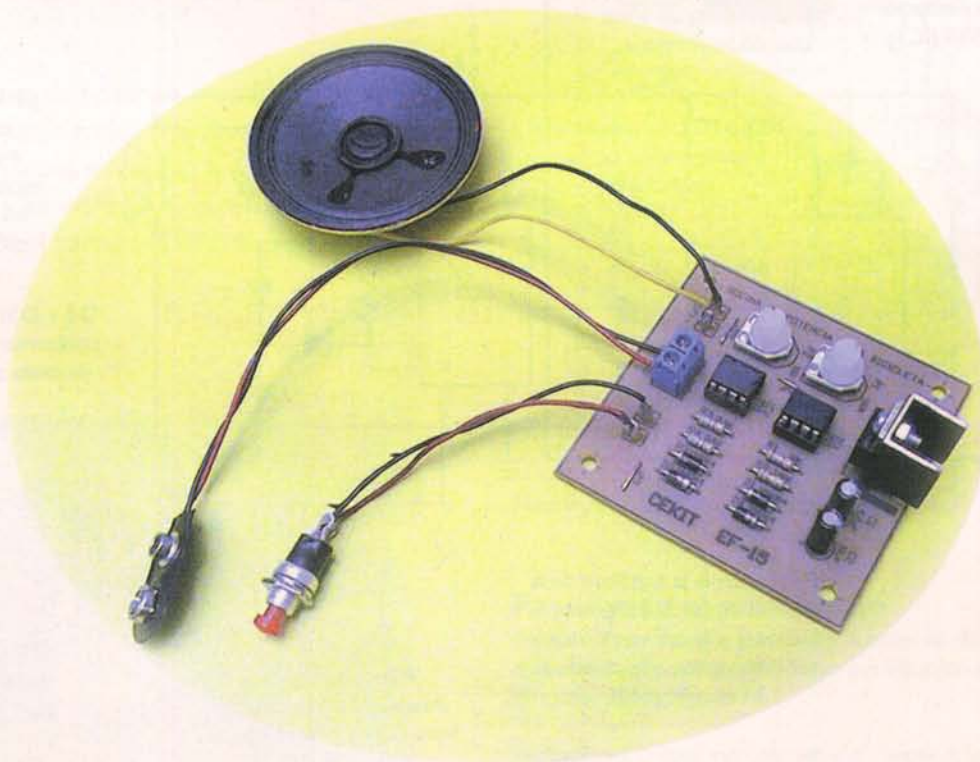
Bocina de potencia para bicicleta

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

Una de las principales aplicaciones de los osciladores es la de producir sonidos para juguetes y alarmas, entre otros. El circuito que presentamos a continuación, produce efectos sonoros interesantes con un buen nivel de volumen provenientes de un oscilador conformado por circuitos integrados.



Si combinamos dos circuitos integrados 555 podemos lograr una gran cantidad de sonidos. Para lograr los diferentes sonidos se hacen variar los potenciómetros P1 y P2. En la **figura 15.1** se observa el diagrama de bloques de la bocina de potencia para bicicleta.

El primer circuito oscilador produce una señal cuadrada cuya frecuencia es de 10Hz aproximadamente. Esta señal se convierte en una onda triangular por medio de P1 y de C2, y con ella, se modula o modifica la frecuencia del segundo oscilador.

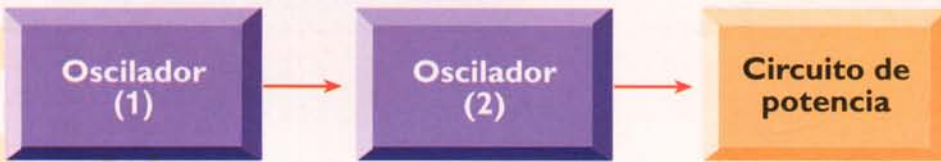


Figura 15.1. Diagrama de bloques de la bocina de potencia para bicicleta

La bocina para bicicleta deberá ser alimentada forzosamente con pilas y a pesar de esta alimentación relativamente débil, debe tener la potencia suficiente como para llamar la atención en vías ruidosas o muy congestionadas; de lo contrario de nada le servirá el tener una bocina que apenas gime; es por esto que la salida de este circuito se lleva al circuito de potencia con el fin de reforzarla de tal forma que el sonido sea lo suficientemente fuerte como para que se escuche aún cuando haya bastante ruido. En la **figura 15.2** se observa el diagrama esquemático de este proyecto.

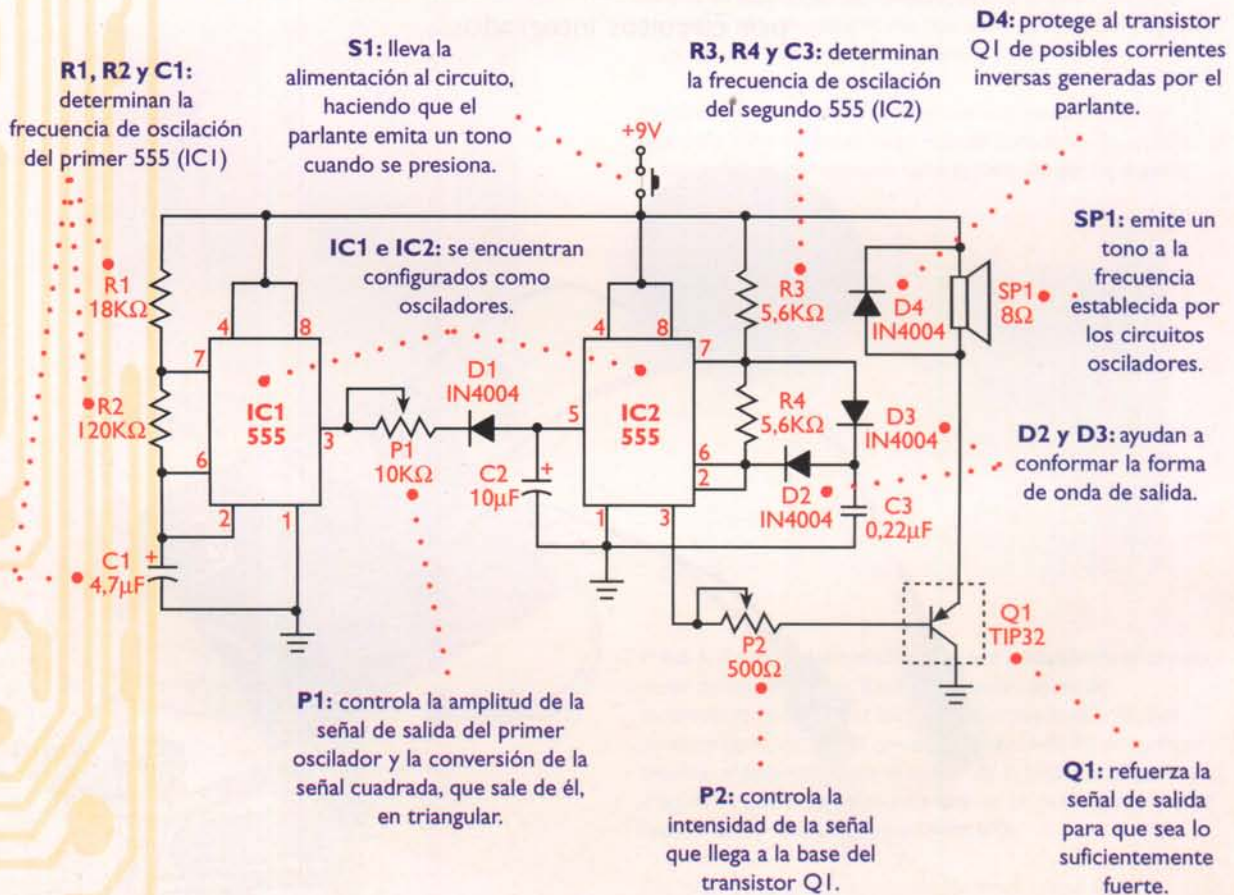


Figura 15.2. Diagrama esquemático de la bocina de potencia para bicicleta.



Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que posee todos los componentes y materiales necesarios. Para ello, revíse con cuidado la lista de materiales adjunta.

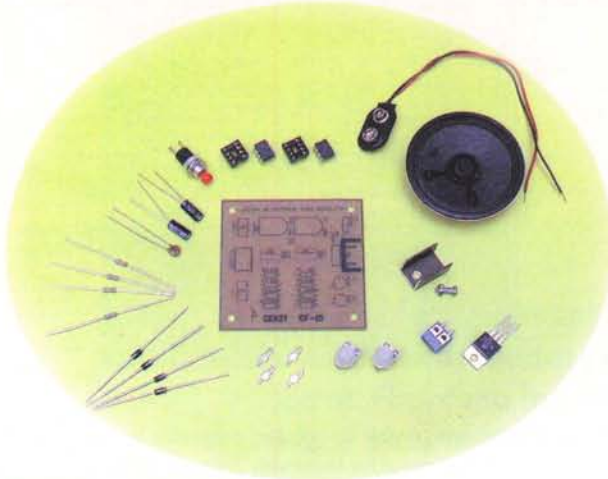
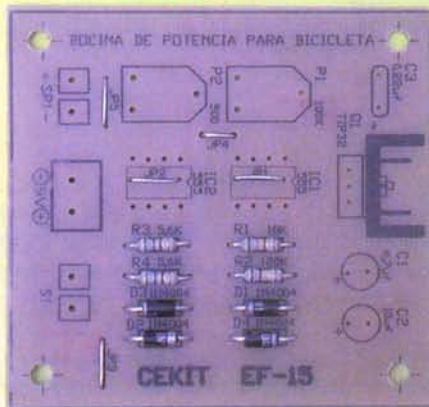


Figura 15.3. Componentes que conforman el kit

La bocina de potencia para bicicleta se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-15, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la batería de 9V, el parlante y el pulsador.



Lista de materiales

1. 2 Circuitos integrados 555
2. 2 Bases para circuito integrado de 8 pines
3. 1 Potenciómetro de ajuste de 500 Ω
4. 1 Potenciómetro de ajuste de 100 K Ω
5. 1 Condensador electrolítico de 4,7uf/16V
6. 1 Condensador electrolítico de 10uf/16V
7. 1 Condensador cerámico de 0,22uf /50V
8. 1 Resistencia de 120 K Ω , 1/4 W
9. 1 Resistencia de 18 K Ω , 1/4 W
10. 2 Resistencias de 5,6 K Ω , 1/4 W
11. 4 Diodos rectificadores 1N4004
12. 1 Transistor TIP32 PNP
13. 1 Disipador de calor para TO-220 (mediano)
14. 1 Pulsador normalmente abierto para chasis
15. 1 Parlante de 8W a 0,25W
16. 4 Conectores para circuito impreso (espadines)
17. 1 Conector de tornillo de dos pines
18. 1 Conector para batería de 9V
19. 1 Tornillo de 3 x 7 mm con tuerca
20. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-15

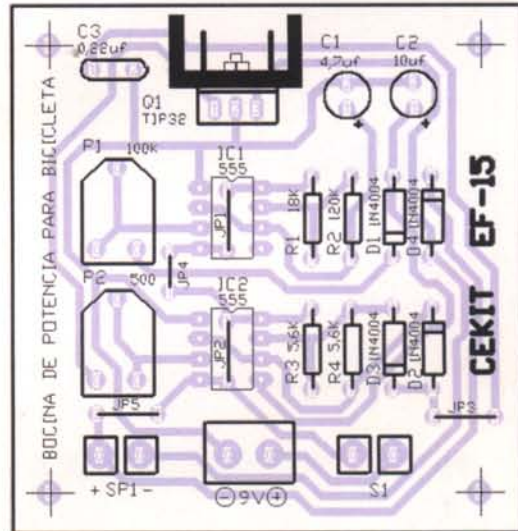


Figura 15.4. Guía de ensamblaje

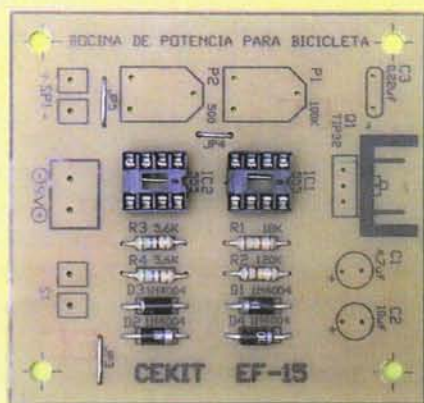
Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre, las resistencias y los diodos 1N4004, ya que éstos son los elementos de menor altura. **Figura 15.5**

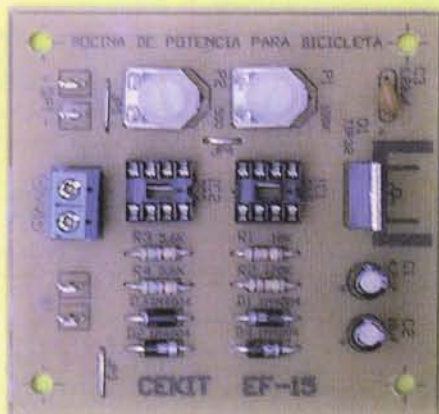
Verifique que la línea marcada sobre el cuerpo de los diodos coincida con la dibujada sobre la placa del circuito impreso.

Paso 2. Luego instale las bases para los circuitos integrados.
Figura 15.6

Recuerde que la ranura que tienen las bases de los circuitos integrados, debe quedar ubicada en la misma posición que la dibujada sobre la placa del circuito impreso.

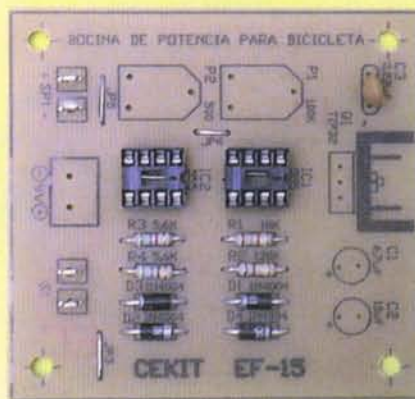


Paso 4. Luego instale los condensadores electrolíticos, el conector de dos tornillos, los potenciómetros de ajuste y el transistor. **Figura 15.8**



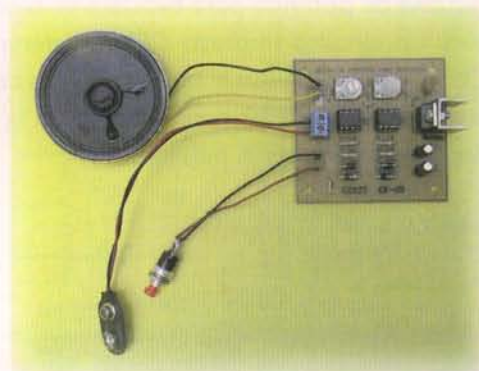
Paso 3. Posteriormente suelde el condensador cerámico y los 4 espadines. **Figura 15.7**

Es indiferente la posición en que instale el condensador.



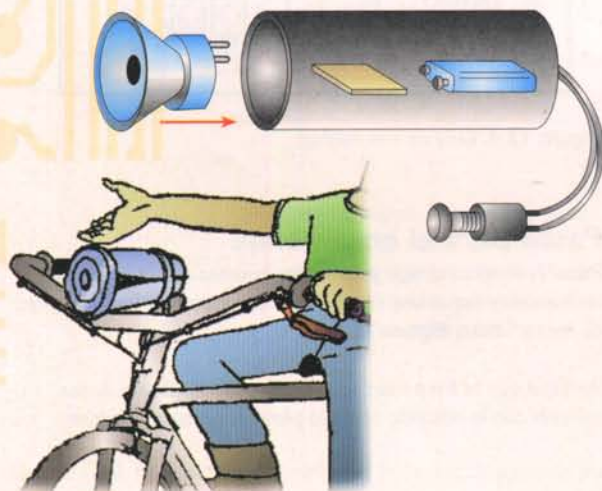
Paso 5. Finalmente, instale los circuitos integrados en sus respectivas bases, inserte los terminales del conector de la batería en los orificios del conector de dos tornillos, suelde el parlante y el interruptor en las posiciones correctas, y asegure el disipador de calor al transistor. **Figura 15.9.**

Asegúrese de que los circuitos integrados queden correctamente orientados sobre sus bases. Tenga especial cuidado con la polaridad de la batería la cual está marcada sobre la placa del circuito impreso.



Paso 6. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente la posición de cada uno de los componentes y que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente; de ser así, conecte la batería de 9V en su lugar y presione el pulsador. Ajuste el sonido de la bocina a su gusto y asegure los potenciómetros para que no se muevan, esto puede hacerlo con un poco de pintura para uñas.

Con el fin de proporcionar un sonido más intenso, es recomendable introducir el parlante en un tubo de polivinilo (PVC), éste nos facilita la instalación del circuito en la bicicleta y además lo protege de los rigores del clima. **Figura 15.10**





Proyecto 16

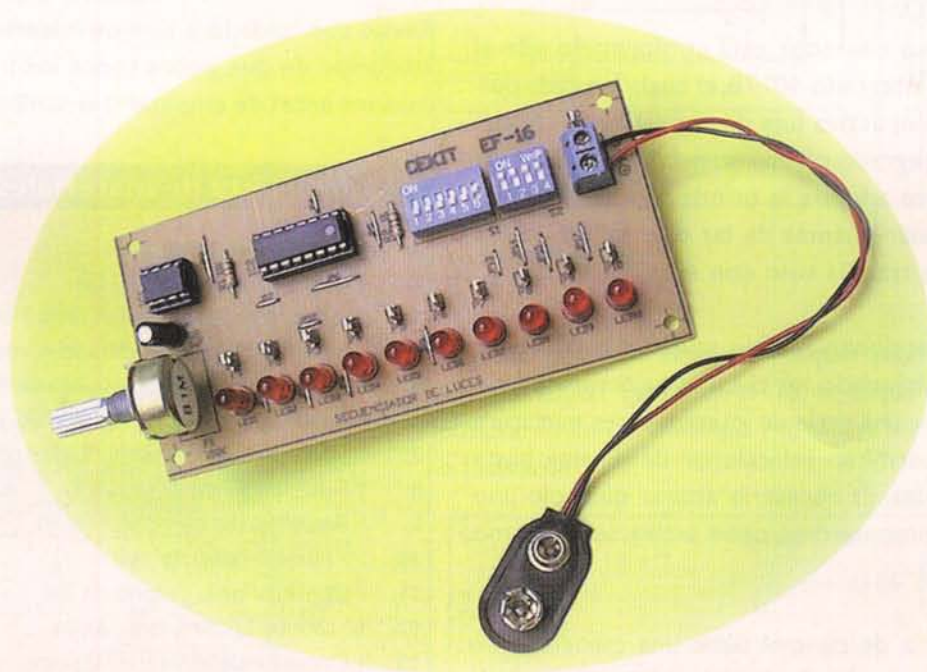
Secuenciador de Luces

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

A muchas personas aficionadas a la electrónica les llama la atención el poder manejar una determinada cantidad de luces (lámparas), las cuales se pueden distribuir de diferentes formas para dar así la sensación visual de movimiento. El ensamblaje de este tipo de circuitos es una de las formas más agradables de iniciarse en esta tecnología. El circuito que presentamos a continuación puede ser usado en avisos luminosos, discotecas y adornos de navidad, entre otros.



En electrónica existen muchas posibilidades para construir juegos de luces que van desde un simple circuito intermitente con una lámpara, hasta el sofisticado control de luces en un espectáculo musical creado por medio de una computadora.

El circuito que usted construirá en esta ocasión, es uno de los más sencillos para el control de luces secuenciales, pero que a su vez permite manejar un número considerable de luces el cual puede seleccionarse por medio de unos pequeños interruptores. El circuito está conformado por tres bloques así:

1. El circuito de reloj, es el encargado de establecer la velocidad de operación del circuito, es decir, establece la velocidad con que las lámparas encenderán una tras de otra en forma secuencial. Éste tiene como función enviar un tren de pulsos a las demás partes del circuito para que trabajen en forma sincronizada. En este proyecto, el circuito de reloj está construido con un circuito integrado 555, el cual entrega una señal de onda cuadrada a su salida cuya frecuencia depende de $C1$, $R1$ y PI .
2. El circuito contador está conformado por el circuito integrado 4017B, el cual, con cada pulso de reloj activa una de sus salidas. Este circuito integrado ofrece un máximo de diez salidas, pero además le brinda la posibilidad de seleccionar cuántas de las diez salidas desea activar y trabaja sólo con ellas.
3. Para seleccionar cuantas salidas desea activar, se ha adicionado un circuito selector conformado por una serie de interruptores miniatura que le permiten seleccionar desde una hasta diez salidas. Es necesario aclarar que solo uno de los interruptores debe activarse al mismo tiempo.

El circuito de control tiene una capacidad de corriente muy limitada, del orden de unos pocos miliamperios, la cual es apenas suficiente para encender un diodo LED. Si desea manejar

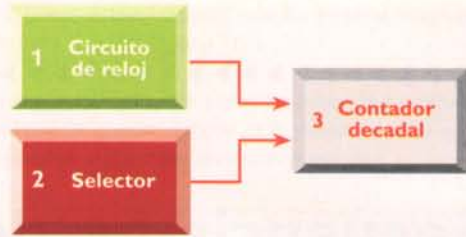


Figura 16.1. Diagrama de bloques del secuenciador de luces

lámparas incandescentes, debe utilizar un circuito de interfaz con el fin de acoplar (hacer compatibles) las características eléctricas del circuito de control y del circuito de potencia. Con el fin de dejar abierta la posibilidad de manejar circuitos de potencia, se han adicionado al circuito una serie de terminales tipo "espadín" denominados como P0 a P10. El circuito de potencia necesario para conectar a este secuenciador se estudiará en otro proyecto.

En la figura 16.2 se observa el diagrama esquemático del secuenciador de luces.

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los materiales necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito.

Lista de materiales

1. 1 Circuito integrado 555
2. 1 Circuito integrado 4017B
3. 1 Interruptor tipo dipswitch de 6 interruptores
4. 1 Interruptor tipo dipswitch de 4 interruptores
5. 1 Base para circuito integrado de 8 pines
6. 1 Base para circuito integrado de 16 pines
7. 1 Condensador electrolítico de 1uF/16V
8. 1 Resistencia de 1K Ω , 1/4 W
9. 2 Resistencias de 10K Ω , 1/4 W
10. 1 Potenciómetro de 1M Ω
11. 1 Conector para batería de 9V
12. 10 Diodos LED rojos de 5mm
13. 1 Conector de tornillo de 2 pines
14. 11 Terminales para circuito impreso (espadines)
15. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-16

Figura 16.2. Diagrama esquemático del secuenciador de luces

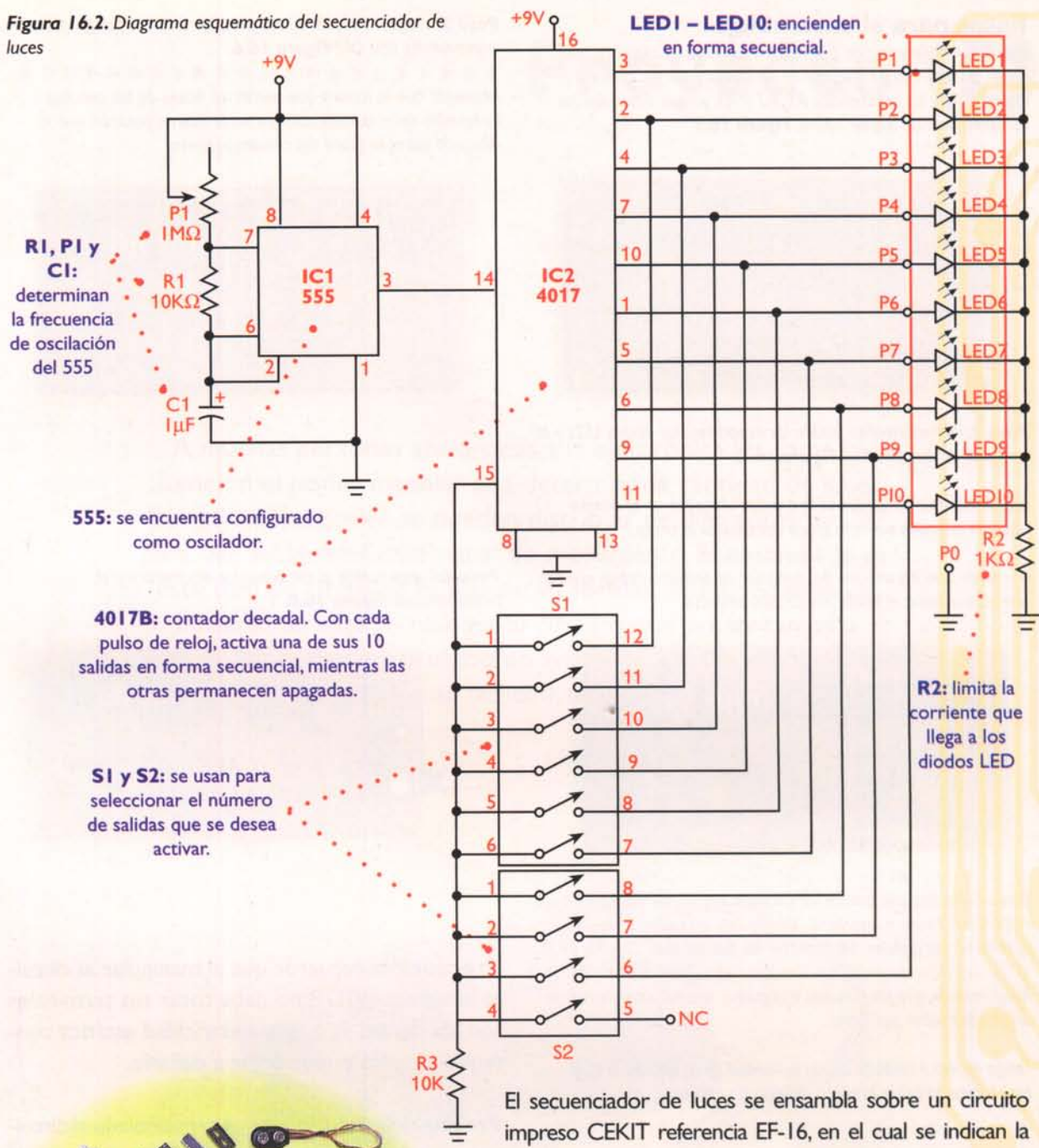


Figura 16.3. Componentes que conforman el kit

El secuenciador de luces se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-16, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluye la conexión para la batería de 9V.

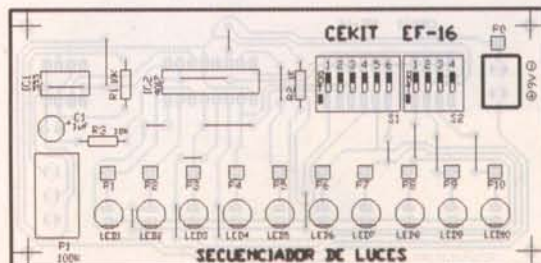


Figura 16.4. Guía de ensamblaje

Proyecto 17

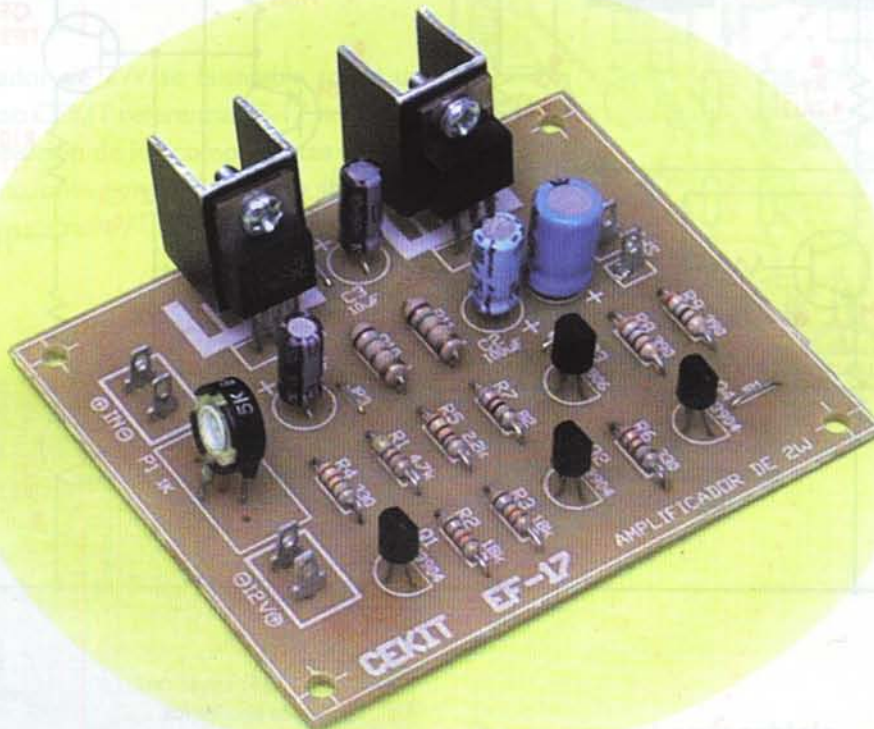
Amplificador de 2W con transistores

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 1:00 hora.

Una de las aplicaciones más comunes de la electrónica es la fabricación de amplificadores de audio. El que fabricaremos en esta ocasión es de baja potencia, trabaja con transistores y puede ser usado para amplificar la señal obtenida de una fuente de sonido, como una radio o un *walkman*, por ejemplo.



Un amplificador, en general, es un circuito que permite amplificar el nivel de voltaje o de corriente de una señal eléctrica. Existen muchas clases de amplificadores dependiendo de la aplicación específica que se da a cada uno de ellos. El que construiremos en esta ocasión le permitirá crear, a un bajo costo, un pequeño sistema de sonido.

Todos los componentes usados en este proyecto son muy comunes y fáciles de conseguir en cualquier tienda especializada. Este amplificador es muy fácil de ensamblar y de reparar, ya que está hecho con transistores. Además, ha sido diseñado de tal forma que solo requiere de una

fuente de alimentación positiva, a diferencia de los amplificadores comunes que requieren de dos fuentes de alimentación: una positiva y una negativa.

Este circuito está conformado por tres etapas bien diferenciadas: la primera, se encarga de acondicionar la señal de entrada para que pueda ser llevada a la segunda etapa, conformada por Q3 y Q4, que se encargan de separar el semiciclo positivo del negativo, los cuales finalmente son llevados a una tercera etapa encargada de amplificarlos individualmente. Los circuitos amplificadores transistorizados se explican detalladamente en la sección de **Teoría**.

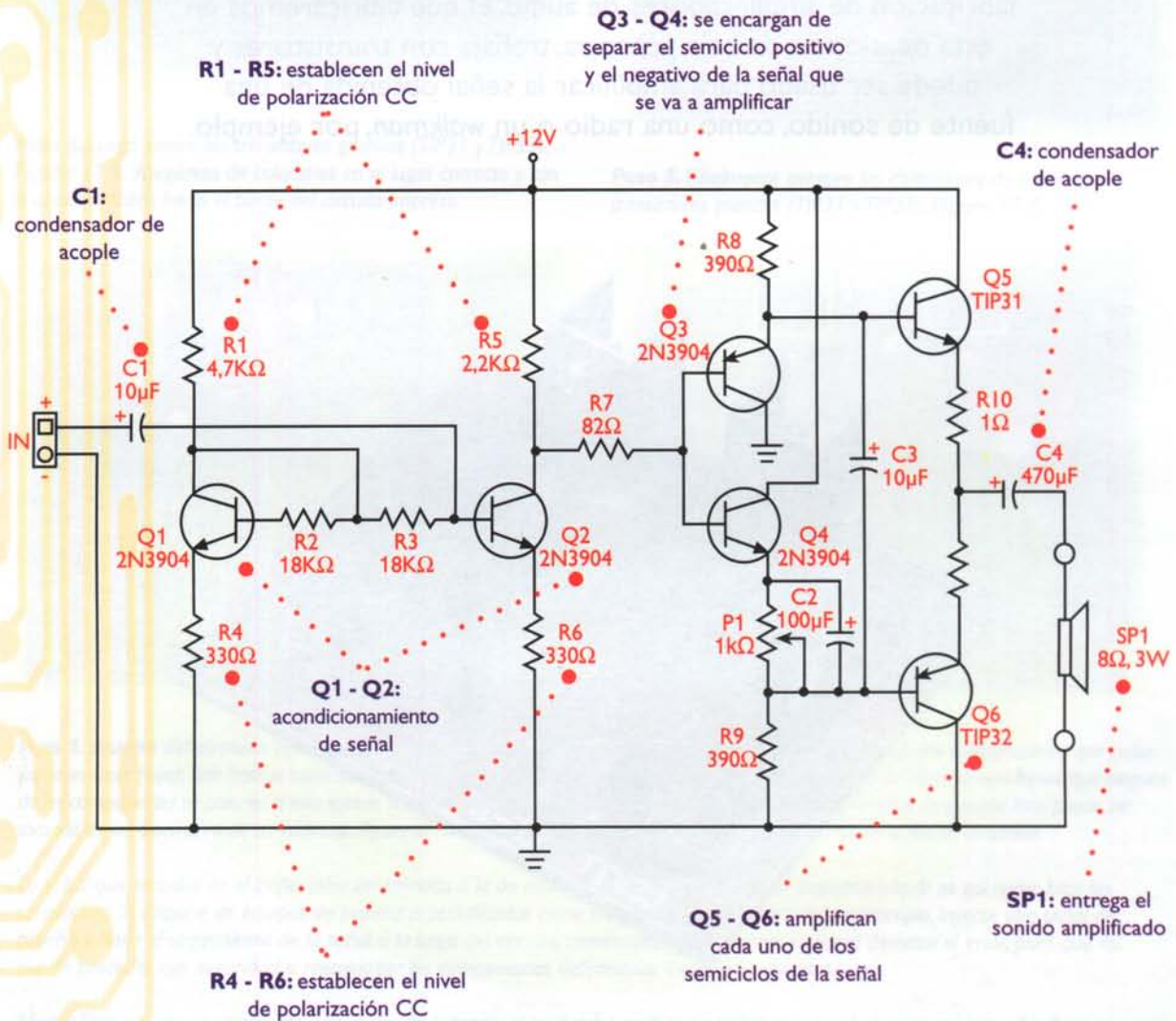


Figura 17.1. Diagrama esquemático del amplificador de 2W

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los materiales necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

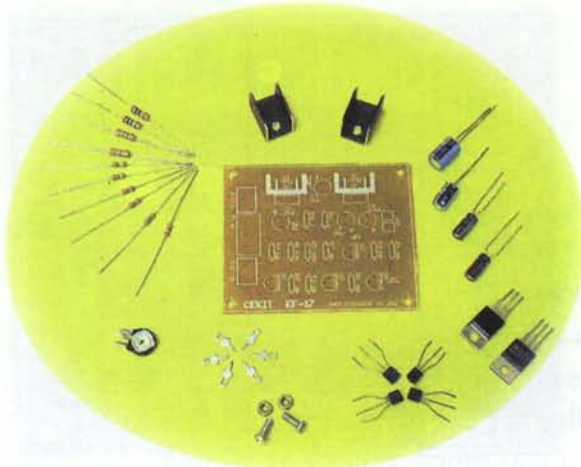


Figura 17.2. Componentes que conforman el kit

Lista de materiales	
1.	3 Transistores 2N3904
2.	1 Transistor 2N3906
3.	1 Transistor TIP31
4.	1 Transistor TIP32
5.	2 Condensadores electrolíticos de 10uf/16V
6.	1 Condensador electrolítico de 100uf/16V
7.	1 Condensador electrolítico de 470uf/16V
8.	1 Resistencia de 2,2K Ω , 1/4 W
9.	1 Resistencia de 82 Ω , 1/4 W
10.	1 Resistencia de 4,7K Ω , 1/4 W
11.	2 Resistencias de 330 Ω , 1/4 W
12.	2 Resistencias de 18K Ω , 1/4 W
13.	2 Resistencias de 390 Ω , 1/4 W
14.	2 Resistencias de 1 Ω , 1/2 W
15.	1 Potenciómetro trimmer de 1K Ω
16.	6 Conectores para circuito impreso (espadines)
17.	2 Disipadores de calor tipo TO-220 medianos
18.	2 Tornillos milimétricos de 3x7 con tuerca
19.	1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-17

El amplificador de 2W se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-17, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación, la señal de entrada y la salida para el parlante.

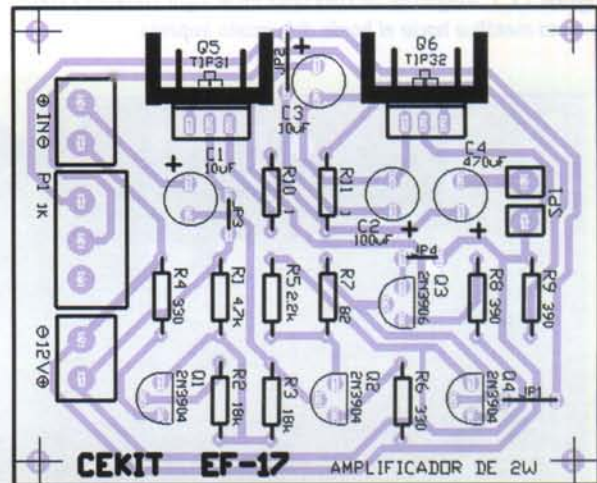
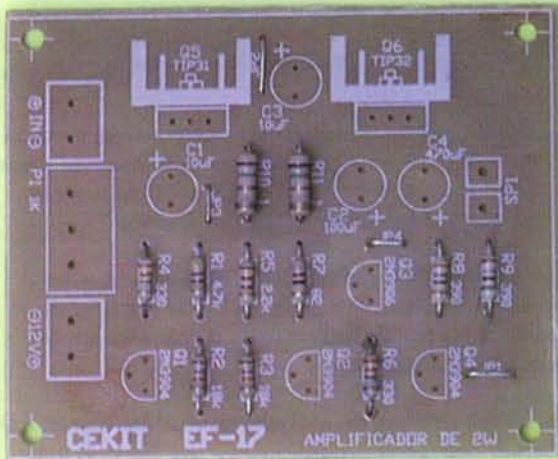


Figura 17.3. Guía de ensamblaje

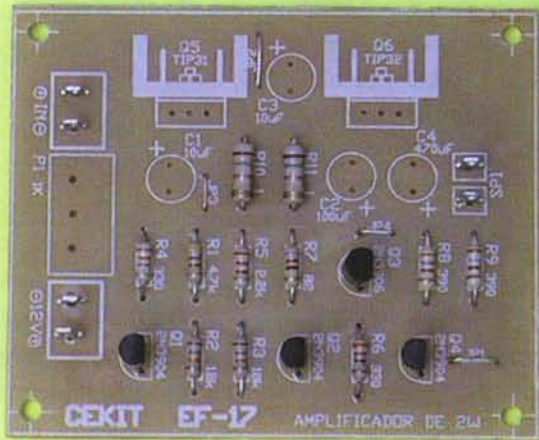


Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre y las resistencias. **Figura 17.4**

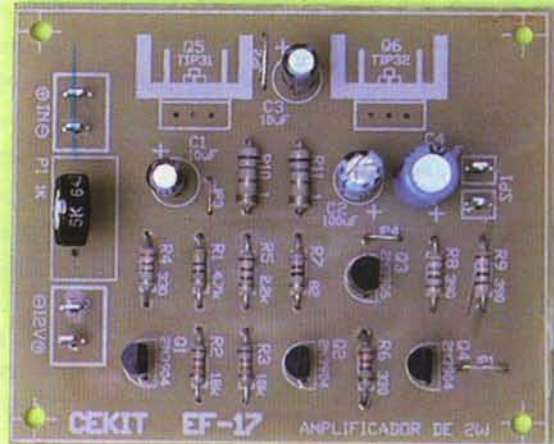
Paso 2. Luego, instale los espadines y los transistores pequeños. **Figura 17.5.**

Tenga especial cuidado con los transistores, pues todos no son de la misma referencia y por lo tanto no funcionan de la misma forma. Asegúrese de colocarlos en el lugar correcto.

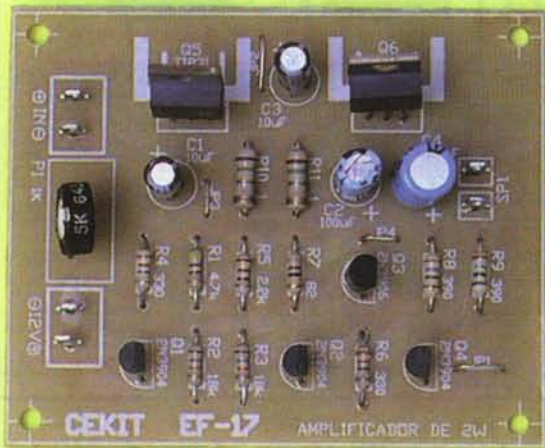


Paso 3. Posteriormente suelde los condensadores electrolíticos y el potenciómetro. **Figura 17.6.**

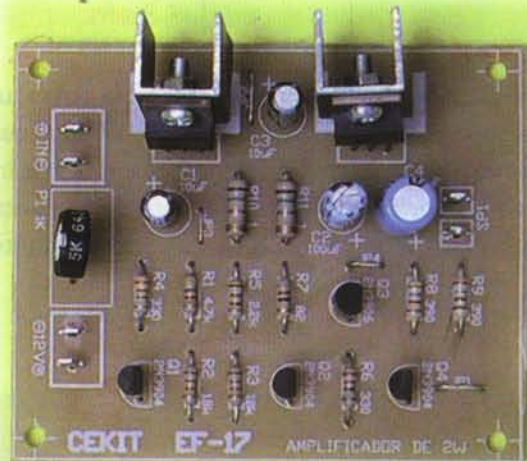
Recuerde que si éstos son de diferente altura, debe soldar primero los más bajos y finalmente los más altos. En el potenciómetro trimmer el mecanismo para la rotación debe quedar ubicado hacia el borde de la tarjeta del circuito impreso, para facilitar su manipulación.



Paso 4. Luego suelde los transistores grandes (TIP31 y TIP32). **Figura 17.7.** Asegúrese de colocarlos en el lugar correcto y con la aleta metálica hacia el borde del circuito impreso.



Paso 5. Finalmente asegure los disipadores de calor a los transistores grandes (TIP31 y TIP32). **Figura 17.8.**



Paso 6. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente la posición de cada uno de los componentes y que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente; conecte un parlante (baffle) pequeño a la salida y la fuente de alimentación. Revise que ninguno de los componentes se caliente; si esto sucede revise nuevamente las conexiones. Posteriormente conecte la señal de entrada, ésta puede ser tomada de un discman o de un walkman. Ajuste el nivel de amplificación con la ayuda del potenciómetro de la fuente de sonido.

La señal que escuche en el baffle debe ser idéntica a la de entrada, es decir no debe estar distorsionada. Si es así revise bien las conexiones. Si dispone de equipos de prueba especializados como un generador de señal y un osciloscopio, inyecte una señal de prueba y haga el seguimiento de la señal a lo largo del circuito, comenzando por la entrada, hasta detectar el error, para que así pueda proceder con seguridad a reemplazar los componentes defectuosos o malas conexiones.

Nota: Este circuito es solamente una etapa de potencia la cual debe recibir una señal con un nivel relativamente alto. Para crear un amplificador de potencia estéreo completo, se requieren dos amplificadores de este tipo, un preamplificador y una fuente de poder conformando un solo circuito. Este tema se tratará ampliamente en la sección de Teoría.

Proyecto 18

Intercomunicador

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

La base de nuestra sociedad son las comunicaciones, resulta absolutamente necesario el estar en contacto permanente con las demás personas para hacer más fácil y agradable nuestro diario vivir. El circuito que presentamos a continuación es un sencillo intercomunicador el cual le permitirá permanecer en contacto, a través de un cable, con una persona que se encuentre ubicada a una distancia considerable.



La comunicación directa e inmediata, entre dos puntos relativamente cercanos, es una necesidad imperiosa en el mundo de hoy. Por comodidad, eficiencia, y especialmente, por seguridad, el contacto permanente entre varios sitios es muy importante en viviendas, fábricas y tiendas de comercio, entre otros.

Las características de este intercomunicador, especialmente su bajo costo y facilidad de instalación, lo hacen ideal para puestos de mando, gerencias, administraciones, etc., debido esencialmente a que solo uno de los puntos tiene el comando de la comunicación. En esta forma un administrador o un supervisor puede controlar muchas áreas de trabajo. Para viviendas uni y multifamiliares es un excelente sistema para el control de los accesos. Resumiendo, sirve para todo lo anterior, y además, para lo que su estudio e investigación le agreguen, siempre con la ventaja de su bajo costo de instalación.

Este proyecto es simplemente una base didáctica, su trabajo e imaginación lo pueden convertir en algo mayor y con posibilidades de explotación comercial.

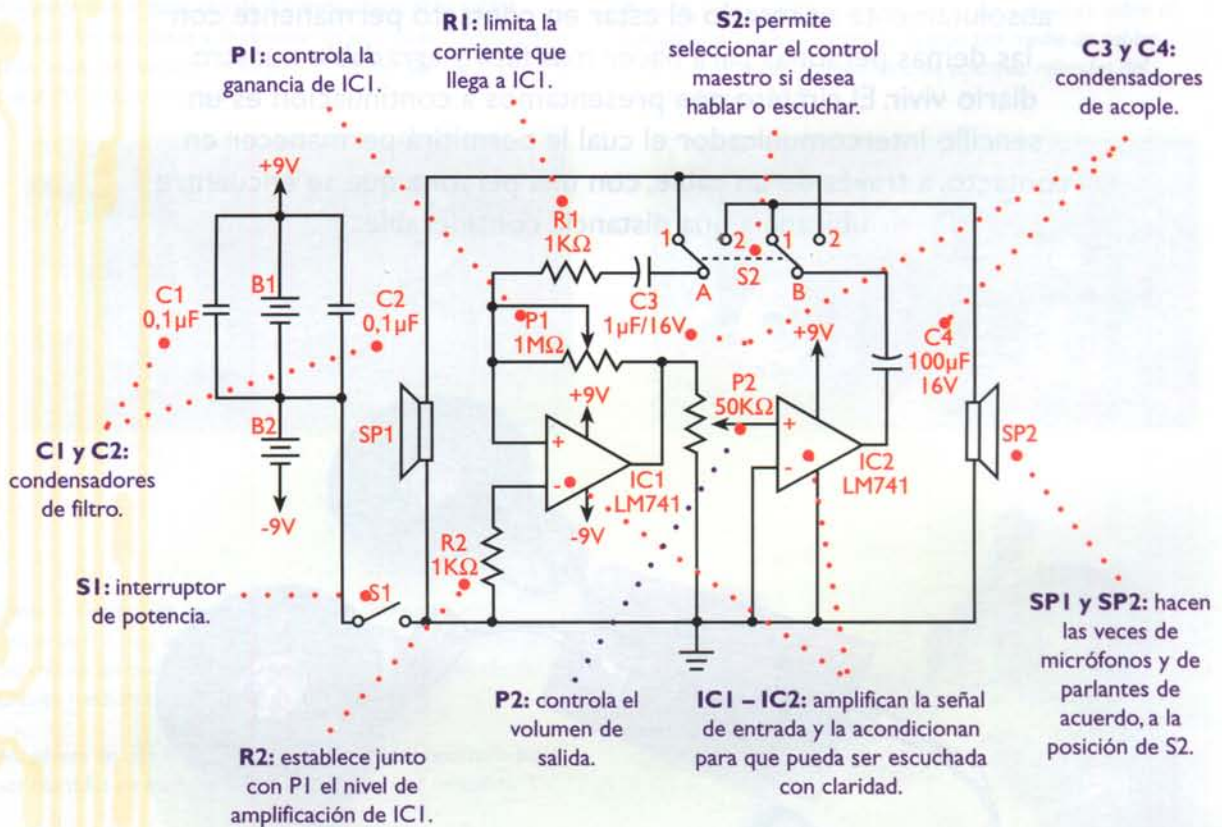


Figura 18.1. Diagrama esquemático del intercomunicador

Como puede observar, este circuito tiene un solo interruptor para seleccionar si desea hablar o escuchar por lo que solo uno de los dos puntos de comunicación tiene el control, mientras que el otro deberá someterse a lo establecido por el primero.

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

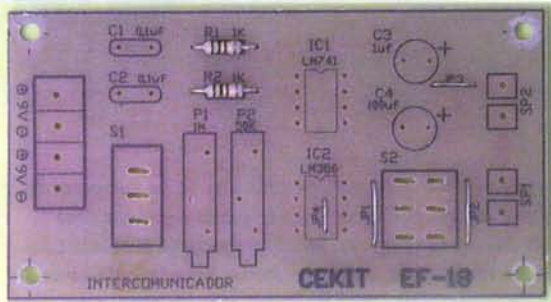


Figura 18.2. Componentes que conforman el kit

El intercomunicador se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-18, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación y los parlantes.

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre y las resistencias. **Figura 18.4**



Lista de materiales	
1.	2 Bases para circuito integrado de 8 pines
2.	1 Circuito integrado LM741
3.	1 Circuito integrado LM386
4.	4 Conectores para circuito impreso (espadines)
5.	1 Condensador electrolítico de 1uf/16V
6.	1 Condensador electrolítico de 100uf/16V
7.	2 Conectores de tornillo de 2 pines
8.	1 Potenciómetro (trimmer) de 1M Ω
9.	1 Potenciómetro (trimmer) de 50K Ω
10.	2 Condensadores cerámicos de 0,1uf/50V
11.	2 Resistencias de 1K Ω a 1/4W
12.	1 Interruptor de codillo de dos posiciones (3 pines)
13.	1 Interruptor doble de codillo de dos posiciones (6 pines)
14.	2 Conectores para batería de 9V
15.	2 Parlantes de 8 Ω a 1/4W
16.	1m de cable dúplex polarizado calibre AWG 22
17.	1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-18

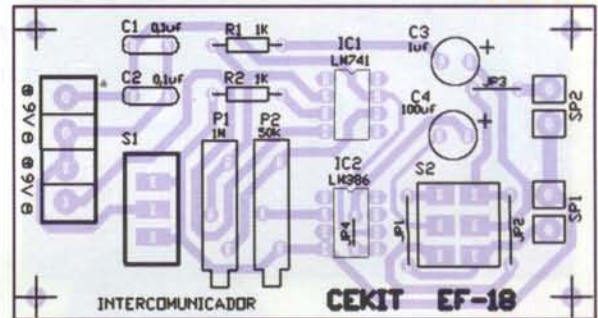
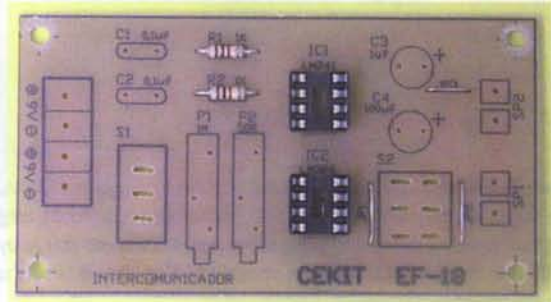


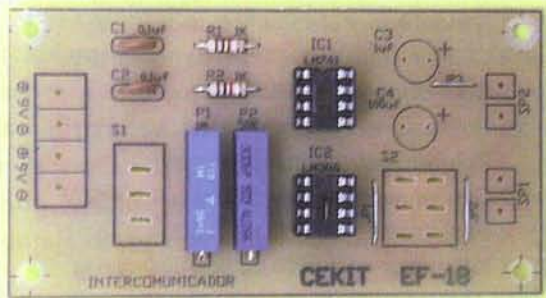
Figura 18.3. Guía de ensamblaje

Paso 2. Luego instale las bases para los circuitos integrados. **Figura 18.5.**

Asegúrese de colocarlas en la dirección correcta, pues éstos serán la guía para instalar luego los circuitos integrados.

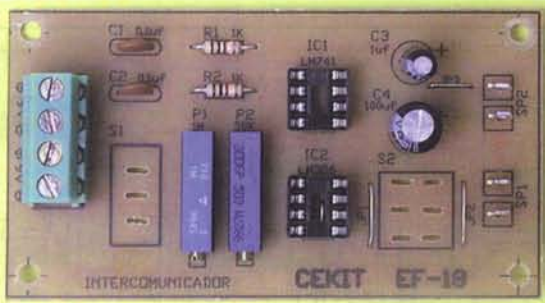


Paso 3. Posteriormente, suelde los potenciómetros (trimmers) y los condensadores cerámicos. **Figura 18.6.**



Paso 5. Posteriormente suelde los condensadores electrolíticos. **Figura 18.8.**

Recuerde que si éstos son de diferente altura, debe soldar primero los más bajos y finalmente los más altos. Además, debe tener especial cuidado con la posición en que los ubica sobre la placa del circuito impreso.



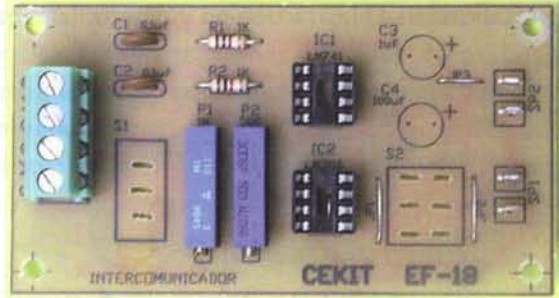
Paso 7. Finalmente inserte los circuitos integrados en sus respectivas bases, inserte los terminales de los conectores de batería en los conectores de dos pines y suelde los parlantes al circuito mediante cables. **Figura 18.10.**

Asegúrese de que los cables tengan la longitud necesaria para ser ubicados en los lugares donde realmente se necesitan.

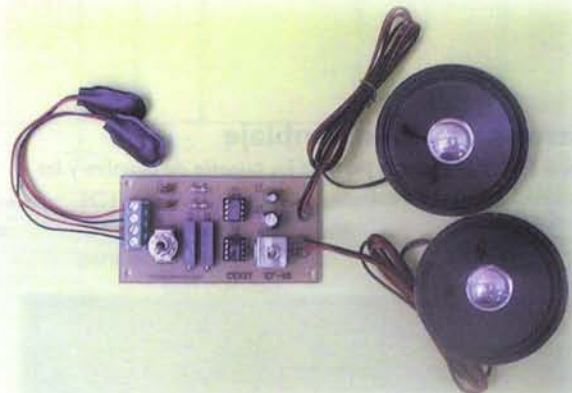
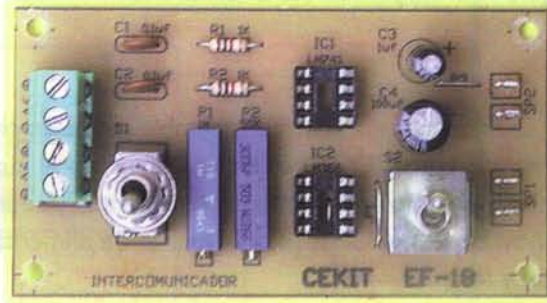
Paso 8. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente la posición de cada uno de los componentes y que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente, luego encienda el circuito por medio del interruptor S1. Haga unas cuantas pruebas de sonido y ajuste los potenciómetros con la ayuda de un atornillador pequeño, hasta que escuche el sonido con suficiente claridad y un volumen apropiado. Recuerde que solo uno de los dos usuarios del intercomunicador tiene el control sobre la comunicación.

Paso 4. Luego, suelde los espadines y los conectores de dos tornillos. **Figura 18.7.**

Recuerde que los orificios de los conectores deben quedar orientados hacia el borde del circuito impreso.




Paso 6. Luego, suelde los interruptores directamente sobre el circuito impreso, o si lo prefiere, hágalo por medio de cables, para que así tenga la posibilidad de ubicarlos retirados del circuito. **Figura 18.9.**

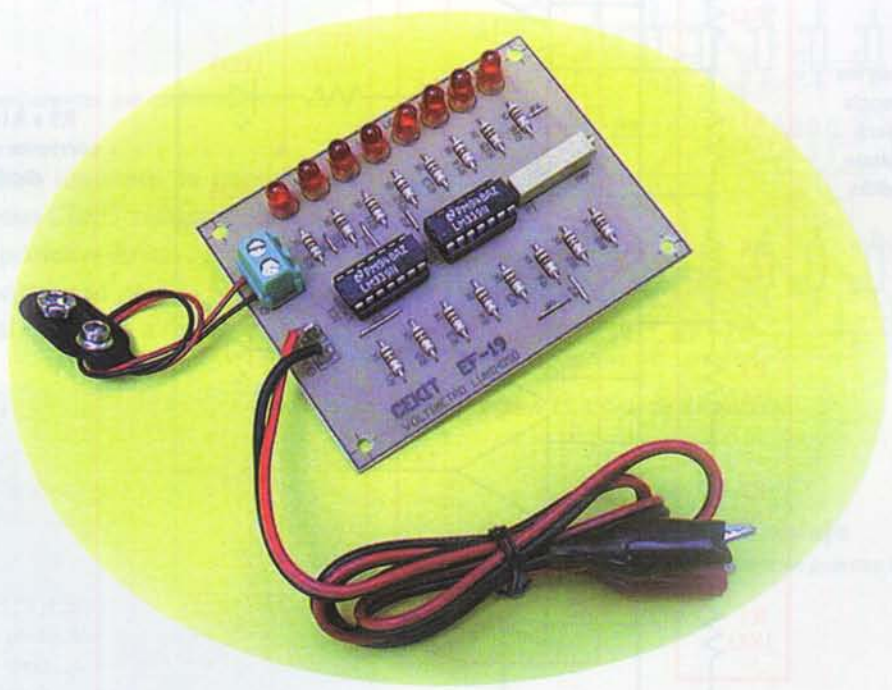


Proyecto 19

Voltímetro luminoso

Costo del proyecto: 
Tiempo estimado de trabajo: 1:00 hora.

La cuantificación de los procesos ha sido desde siempre una de las mayores preocupaciones de los hombres y para ello se han ideado numerosos sistemas de medida, los cuales son cada vez más novedosos y precisos. Los instrumentos de medida no podían pasar desapercibidos entre los avances de la electrónica. El proyecto que presentamos a continuación, es un pequeño voltímetro que indica el valor de la medida mediante una secuencia de indicadores luminosos (diodos LED), lo cual, además de hacerlo útil, es muy llamativo.



El circuito que presentamos a continuación puede ser ajustado de acuerdo a sus necesidades, es decir de acuerdo al nivel de voltaje y a la precisión requerida.

Teoría de funcionamiento

Uno de los componentes más útiles y versátiles usados en electrónica es el amplificador operacional, él además de su función básica de amplificación, puede ser utilizado como comparador de nivel de voltaje, como filtro y como oscilador, entre otros.

El presente circuito está basado en el funcionamiento de éste como comparador. La función de cada comparador es entregar a la salida un nivel bajo cuando el voltaje de entrada sea igual o superior a un nivel de voltaje preestablecido polarizando así los diodos LED directamente, lo que permite que éstos enciendan. Este tema será estudiado detalladamente en la sección de teoría de este curso.

P1: es usado para ajustar los voltajes de referencia.

R1 a R8: establecen los voltajes de referencia con los cuales será comparado el voltaje que va a ser medido.

R9 a R16: limitan la corriente que llega a los diodos LED.

IC1, IC2: comparan el voltaje de entrada con un nivel de voltaje preestablecido.

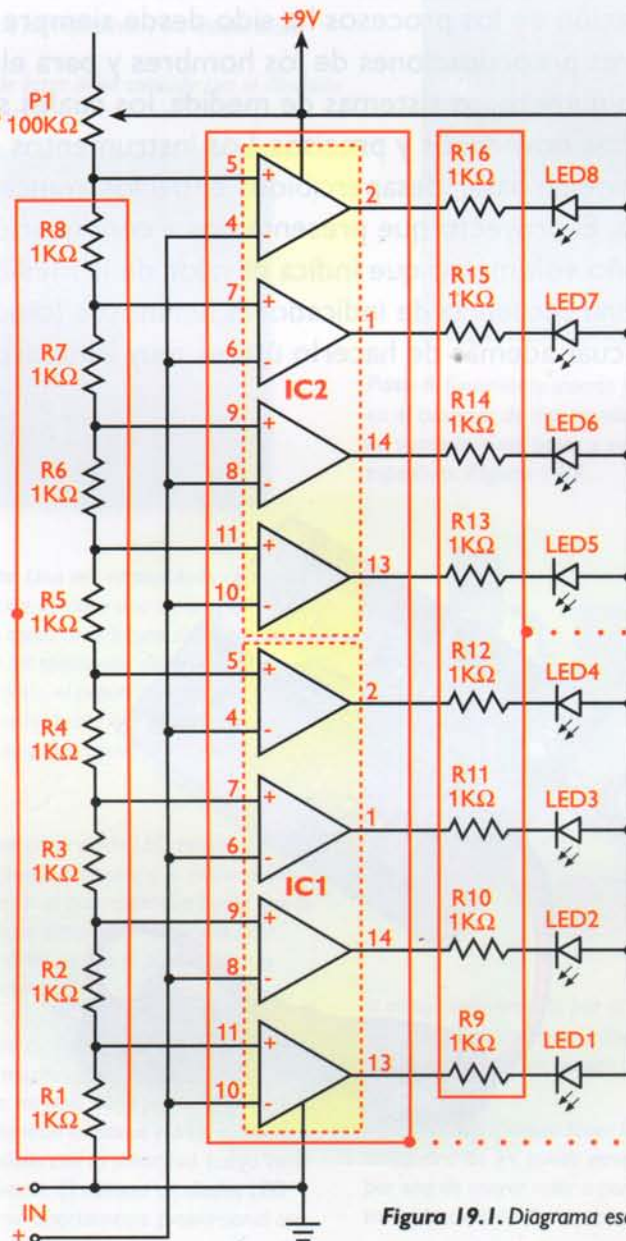


Figura 19.1. Diagrama esquemático del voltímetro luminoso

El circuito que presentamos en esta ocasión está compuesto por ocho comparadores de nivel de voltaje, cada uno de ellos ha sido ajustado a un nivel diferente de voltaje, estableciendo un voltaje de referencia diferente para cada uno. Dichos niveles de voltaje son establecidos por una red de resistencias del mismo valor, las cuales dividen el voltaje de alimentación entre ocho exactamente. Además, dispone de un pequeño potenciómetro de ajuste el cual ha sido instalado para brindarle la posibilidad de calibrar el circuito de acuerdo a seis necesidades.

El máximo voltaje que puede ser medido con el voltímetro luminoso depende del voltaje de la fuente de alimentación. El voltaje que se desea medir debe ser siempre menor a dicho voltaje.

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

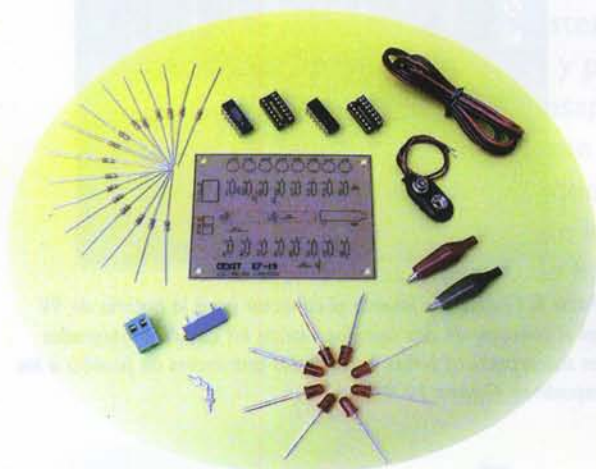
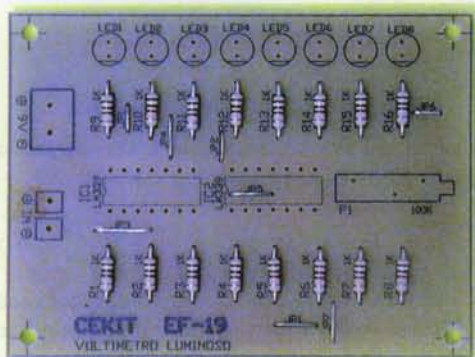


Figura 19.2. Componentes que conforman el kit

El voltímetro luminoso se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-19, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación y la señal que se va a medir.



Lista de materiales	
1.	2 Circuitos integrados LM339
2.	2 Bases de 14 pines para circuito integrado
3.	1 Potenciómetro (<i>trimmer</i>) de 100K Ω
4.	2 Conectores para circuito impreso (espadines)
5.	1 Conector de tornillo de 2 pines
6.	8 Diodos LED rojos de 5mm
7.	16 Resistencias de 1K Ω a 1/4 W
8.	1 Conector para batería de 9V
9.	2 Caimanes de diferente color (uno rojo y uno negro)
10.	50 cm de cable dúplex polarizado calibre AWG 22
11.	1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-19

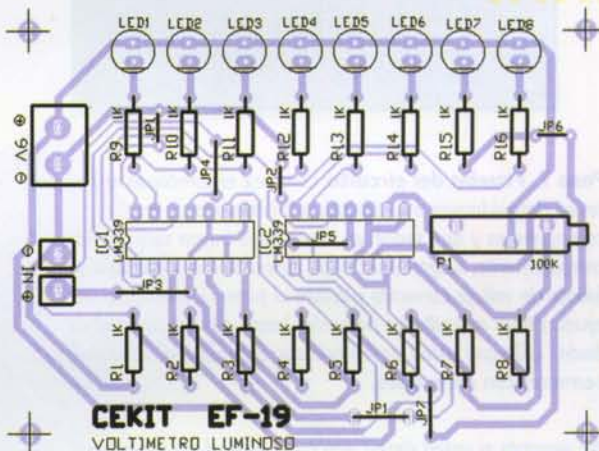


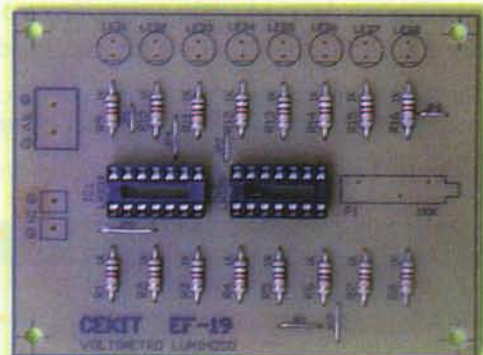
Figura 19.3. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre y las resistencias. **Figura 19.4**

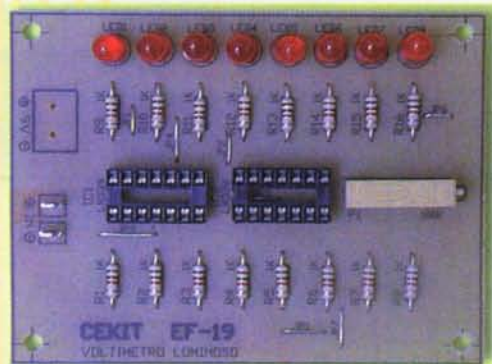
Paso 2. Luego instale las bases para los circuitos integrados. **Figura 19.5.**

Tenga especial cuidado con la posición de éstas. Recuerde que luego serán la guía para instalar correctamente los circuitos integrados.



Paso 4. Posteriormente suelde los espadines y los diodos LED. **Figura 19.7.**

Recuerde que el lado plano de éstos debe coincidir con el dibujado sobre la placa del circuito impreso.

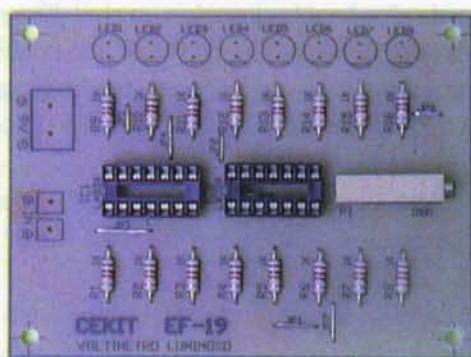


Paso 7. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente la posición de cada uno de los componentes y que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente, luego, conecte los terminales de prueba a una fuente de voltaje conocida y ajuste el potenciómetro, con la ayuda de un atornillador pequeño, hasta que la cantidad de diodos LED que usted desea que correspondan a dicho valor, permanezcan encendidos.

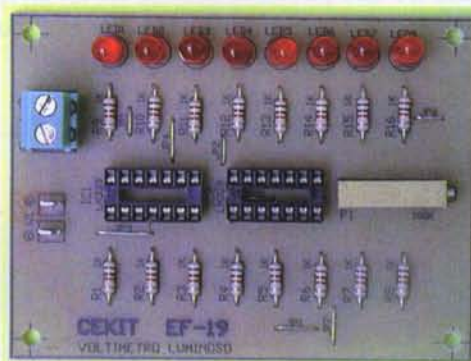
Por ejemplo, si usted desea que cada diodo LED tenga una equivalencia de un (1) voltio, puede conectar a la entrada una batería de 6V, luego, debe ajustar el potenciómetro hasta que se enciendan 6 diodos LED. Si usted desea que los diodos LED enciendan cada 2V, entonces debe ajustar el potenciómetro hasta que se enciendan 3 diodos LED.

Pruebe su circuito con la ayuda de una fuente variable, por ejemplo la del EF-10 de este mismo curso. Para hacerlo, conecte los dos terminales de la salida variable de la fuente a los terminales de entrada del voltímetro luminoso y a un multímetro, si lo posee; tenga especial cuidado con la polaridad. Luego varíe poco a poco el voltaje de la fuente. El número de diodos LED encendidos debe variar en forma directamente proporcional con

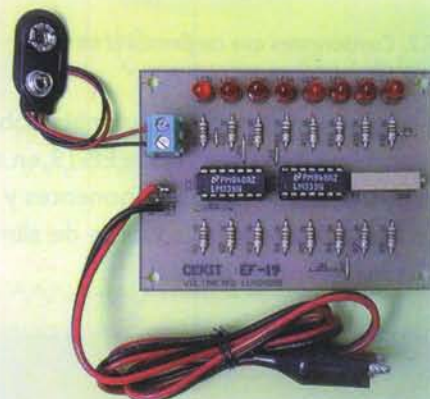
Paso 3. Después instale el potenciómetro (trimmer). **Figura 19.6.**



Paso 5. Por último suelde el conector de dos tornillos. **Figura 19.8.**



Paso 6. Finalmente inserte el conector para la batería de 9V en el conector de dos tornillos, instale los circuitos integrados en sus respectivas bases y suelde los terminales de prueba a los espadines. **Figura 19.9.**



el voltaje suministrado por la fuente. Compare el valor indicado por el multímetro con el valor mostrado por el voltímetro luminoso y haga los ajustes necesarios.

Nota: Si usted desea tener la capacidad de medir voltajes mayores a los 9V, puede reemplazar la batería de alimentación por una de mayor valor o por una fuente regulada de voltaje, teniendo cuidado de no exceder nunca los 15V.



Proyecto 20

Mezclador para micrófonos

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 1:00 hora.

En el presente proyecto, desarrollaremos un sencillo circuito destinado a mezclar y preamplificar varias señales de audio al mismo tiempo, entregándolas todas en una única salida.



Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

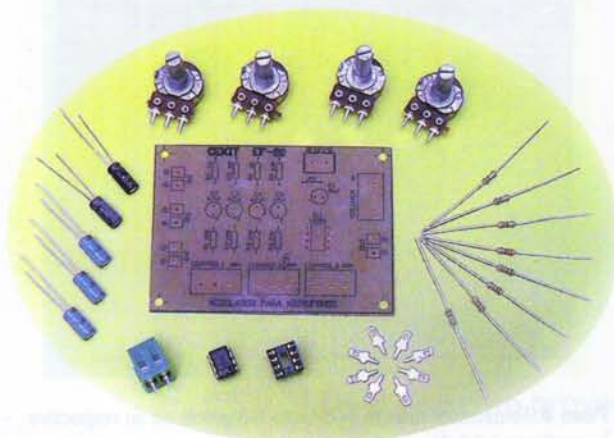


Figura 20.2. Componentes que conforman el kit

El mezclador se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-20, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación, así como las señales de entrada y de salida.

Lista de materiales	
1.	1 Circuito integrado LM386
2.	1 Base de 8 pines para circuito integrado
3.	3 Potenciómetros de 100K Ω
4.	1 Potenciómetro de 1M Ω
5.	8 Conectores para circuito impreso (espadines)
6.	1 Conector de tornillo de 2 pines
7.	2 Resistencias de 3,3K Ω a 1/4 W
8.	3 Resistencias de 100K Ω a 1/4 W
9.	3 Resistencias de 10K Ω a 1/4 W
10.	3 Condensadores electrolíticos de 4,7uf/16V
11.	1 Condensador electrolítico de 10uf/16V
12.	1 Condensador electrolítico de 22uf/16V
13.	1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-20

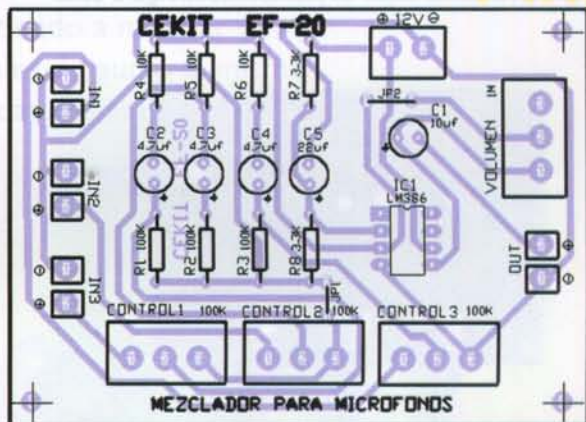
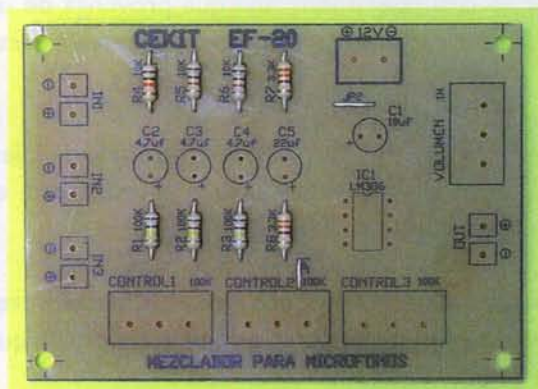


Figura 20.3. Guía de ensamblaje

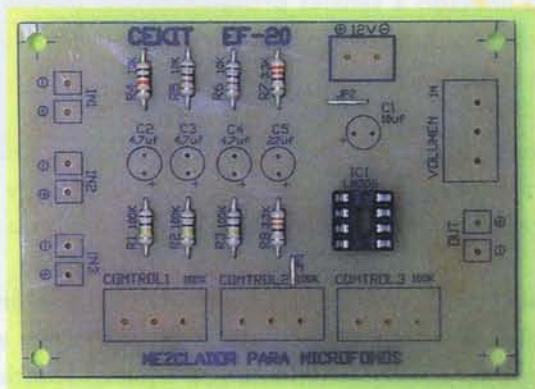
Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre y las resistencias. **Figura 20.4**



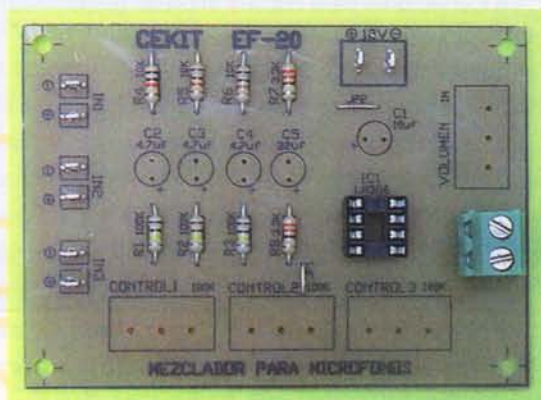
Paso 2. Luego instale la base para el circuito integrado. **Figura 20.5.**

Tenga especial cuidado con la posición de ésta. Recuerde que más adelante ella será la guía para instalar correctamente el circuito integrado.

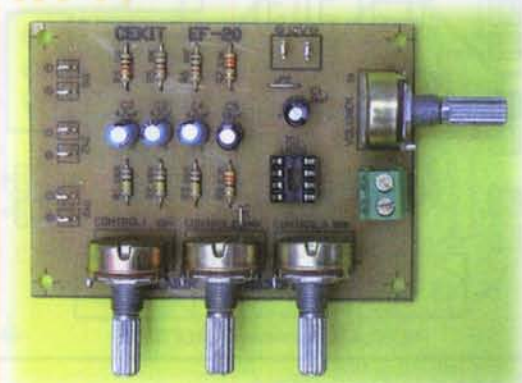


Paso 3. Luego instale los conectores para circuito impreso (espadines) y el conector de dos tornillos. **Figura 20.6.**

Recuerde que los orificios del conector de dos tornillos deben quedar orientados hacia el borde de la tarjeta.

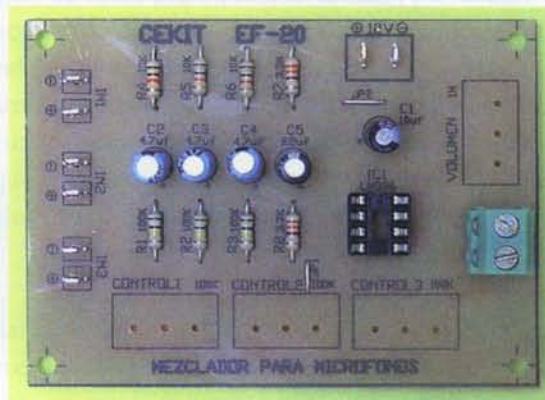


Paso 5. Por último suelde los potenciómetros. **Figura 20.8.**

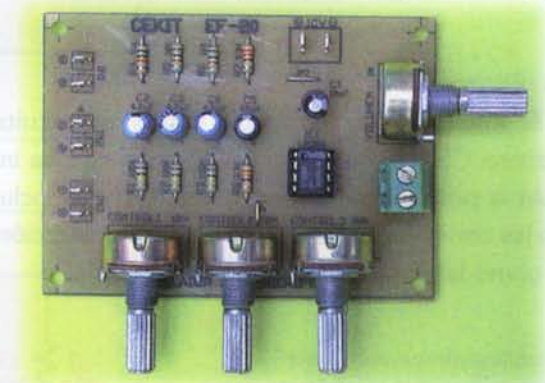


Paso 4. Posteriormente suelde los condensadores electrolíticos. **Figura 20.7.**

No olvide que éstos son polarizados y que por lo tanto debe conectarlos en una dirección específica. Oriéntese con la ayuda del signo mas (+) que se encuentra dibujado sobre la placa de circuito impreso.



Paso 6. Finalmente inserte el circuito integrado en su respectiva base. **Figura 20.9.**



Prueba del circuito. Revise detenidamente que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente, luego, alimente el circuito, teniendo especial cuidado con la polaridad de la fuente. Haga una primera prueba inyectando una sola señal al circuito, ésta puede provenir de un micrófono dinámico, verifique que realmente la señal está siendo amplificada. Luego adicione otra señal, recuerde que el circuito no está limitado a señales provenientes de micrófonos, por lo cual puede usar una que provenga de un *diskman* o un *walkman*. Deberá escuchar a la salida las dos señales al mismo tiempo. Si lo desea inyecte una tercera señal.

Aunque el circuito tiene tres entradas, no es indispensable que por las tres se estén inyectando señales. Para mejorar la calidad del sonido de salida, y lograr que éste se escuche con buena intensidad, es necesario conectar la salida del mezclador a un amplificador de potencia.

Nota: si usted desea construir un sistema estéreo, basta con que construya dos circuitos mezcladores iguales, de esta forma obtendrá un mezclador estéreo de seis (6) entradas (tres por cada canal), que puede ser usado igualmente con equipos sofisticados de audio.

Proyecto 21

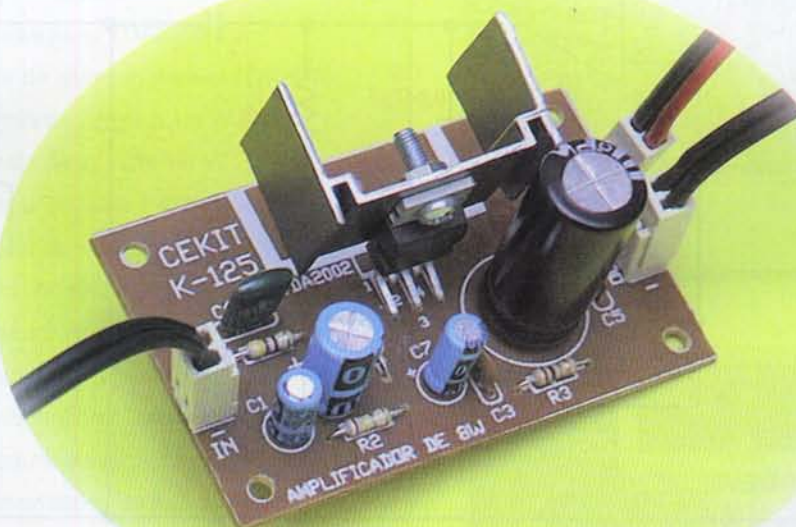
Amplificador de 8W con circuito integrado

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 1:00 hora.

El circuito que presentamos en esta ocasión es un práctico amplificador de audio construido con un circuito integrado, el cual le permite amplificar las señales provenientes de cualquier fuente de audio con el fin de que puedan ser escuchadas con una buena intensidad.



Los amplificadores de audio son uno de los circuitos que más atraen la atención de los aficionados a la electrónica, pues les permite percibir los resultados de manera práctica y casi inmediata.

Los amplificadores con circuitos integrados se han hecho muy populares en la actualidad debido a que simplifican el diseño y la fabricación de los mismos, pues se requiere de una menor cantidad de componentes discretos, tales como resistencias y transistores, entre otros, los cuales se encargan de establecer una mínima cantidad de condiciones necesarias para la correcta operación del circuito; además, ocupan un espacio mucho menor que los que se fabrican con componentes discretos.

En los circuitos que utilizan este tipo de componentes como elemento principal, ya no es necesario hacer un seguimiento de la señal a lo largo de todo el circuito, basta con inyectar la señal que se desea amplificar a la entrada y verificar que la señal de salida sea la deseada.

En el presente circuito, por ejemplo, usamos el amplificador de potencia TDA2002 el cual ha sido diseñado especialmente para tareas de audio y tiene la capacidad de suministrar 8W de potencia de salida; en él la señal de entrada se conecta al terminal 1; la señal de salida, amplificada, se obtiene en el terminal 4; y la alimentación se conecta entre los terminales 5 y 3. En la **figura 21.1** se observa el diagrama esquemático del circuito amplificador de 8W.

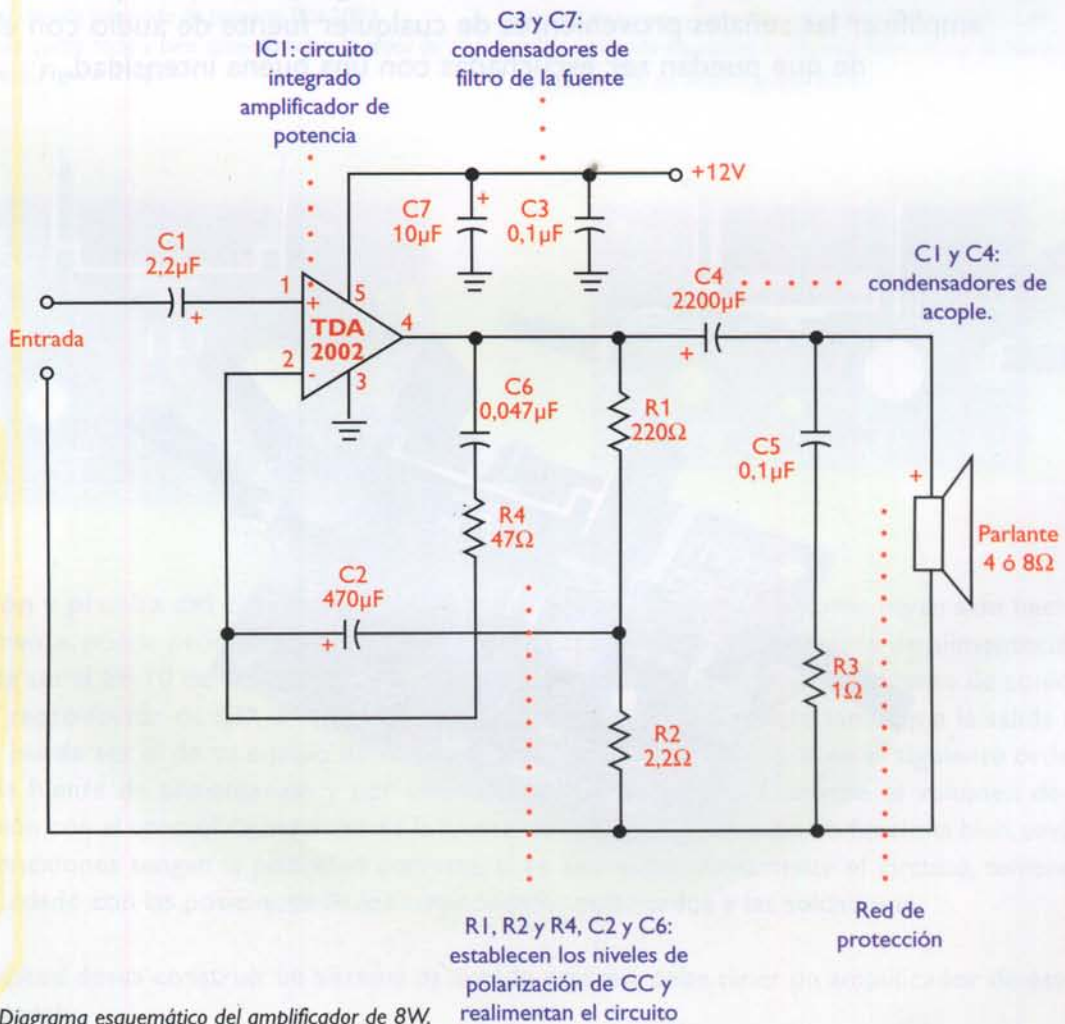


Figura 21.1. Diagrama esquemático del amplificador de 8W.



Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero. **Figura 21.2.**

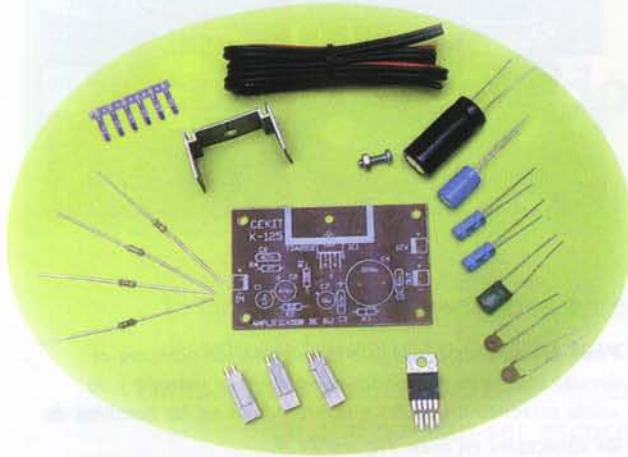


Figura 21.2. Componentes que conforman el kit

Lista de materiales

1. 1 Circuito integrado TDA2002
2. 1 Disipador de aluminio para el TDA2002
3. 1 Resistencia de 220 Ω a 1/4 W
4. 1 Resistencia de 2,2 Ω a 1/4 W
5. 1 Resistencia de 1 Ω a 1/4 W
6. 1 Resistencia de 47 Ω a 1/4 W
7. 1 Condensador electrolítico de 2,2 μ F/16V
8. 1 Condensador electrolítico de 470 μ F/16V
9. 2 Condensadores cerámicos de 0,1 μ F/50V
10. 1 Condensador cerámico de 0,047 μ F/50V
11. 1 Condensador electrolítico de 2.200 μ F/25V
12. 1 Tornillo milimétrico de 3x7 con tuerca
13. 3 Conectores en línea de 2 pines
14. 40 cm de cable blindado
15. 40 cm de cable polarizado calibre AWG22
16. 1 Circuito impreso CEKIT referencia K-125

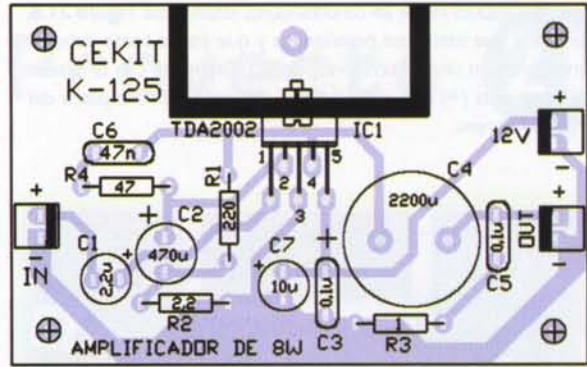
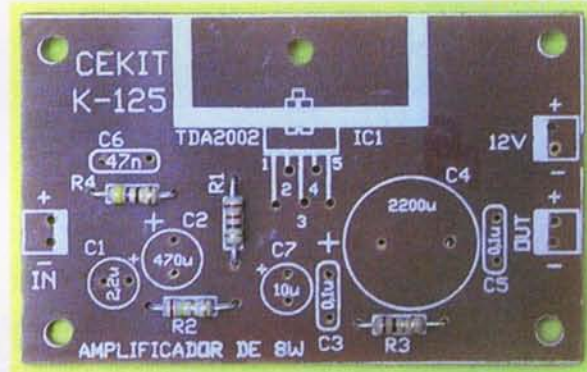


Figura 21.3. Guía de ensamblaje

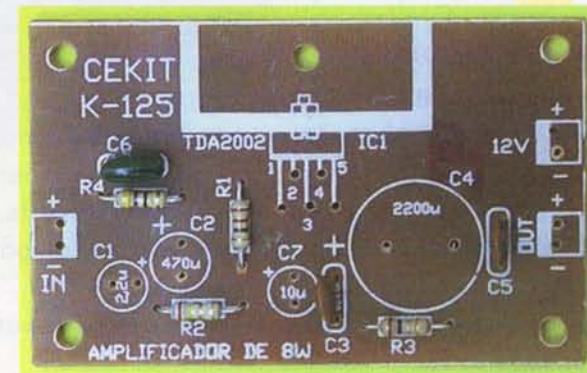
El amplificador de 8W se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia K-125, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación, y las señales de entrada y de salida.

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero las resistencias. **Figura 21.4**



Paso 2. Luego instale los condensadores cerámicos. **Figura 21.5.**



Paso 3. Después instale los condensadores electrolíticos. **Figura 21.6.** No olvide que éstos son polarizados y que por lo tanto debe conectarlos en una dirección específica. Oriéntese con la ayuda del signo mas (+) que se encuentra dibujado sobre la placa del circuito impreso.



Paso 4. Posteriormente suelde los machos de los conectores de entrada y de salida, con la guía de plástico hacia la parte interna, y los terminales metálicos hacia el exterior. **Figura 21.7.**



Paso 5. Por último, suelde rápida y cuidadosamente los terminales del circuito integrado de potencia TDA2002, verificando que quede recto y bien apoyado sobre la placa de circuito impreso. **Figura 21.8.**



Paso 6. Finalmente, asegure el disipador de aluminio al circuito integrado y arme los conectores de entrada y de salida soldando los cables e insertándolos en las hembras de los conectores en línea. **Figura 21.9.**




Instalación y prueba del circuito: después de revisar que todas las conexiones hayan sido hechas correctamente, puede proceder a probar el circuito; para ello, conecte la fuente de alimentación, ésta puede ser la EF-10 de este mismo curso. Después, conecte a la entrada una fuente de sonido, ya sea un reproductor de CD, un reproductor de casetes, u otro. Conecte también a la salida un baffle, que puede ser el de su equipo de sonido. Luego, encienda los equipos en el siguiente orden: primero, la fuente de alimentación y por último, la fuente de sonido. Controle el volumen de la amplificación con el control de volumen de la fuente de sonido. Si el circuito no funciona bien, revise que las conexiones tengan la polaridad correcta, si es así, revise nuevamente el circuito, teniendo especial cuidado con las posiciones de los componentes polarizados y las soldaduras.

Nota: si usted desea construir un sistema de sonido estéreo, debe tener un amplificador de éstos por cada canal.

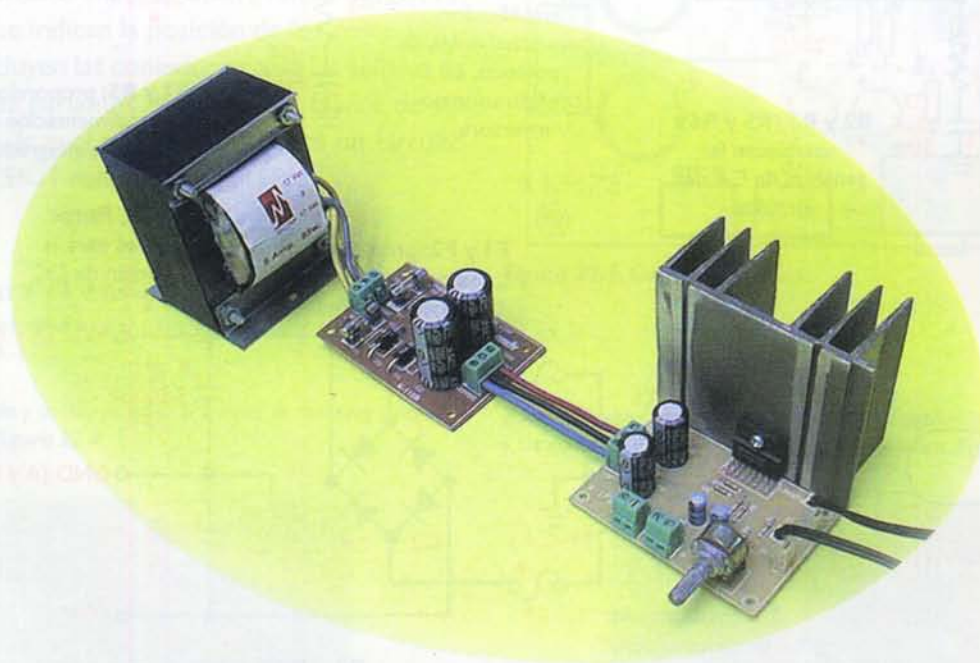
Proyecto 22

Amplificador estéreo de 20W con circuito integrado

Costo del proyecto: 

Tiempo estimado de trabajo: 1:30 hora.

Los amplificadores de sonido o audio son algunos de los proyectos que más llaman la atención a quienes se interesan por el fascinante mundo de la electrónica, más aún cuando tienen la posibilidad de fabricarlos y conocerlos en su estructura interna, lo que más adelante les permitirá repararlos con gran facilidad.



Proyectos

De acuerdo a su configuración, los amplificadores pueden ser de dos tipos: monofónicos o estereofónicos. Los monofónicos, como su nombre lo indica, son aquellos que manejan un solo canal de amplificación y se usan principalmente para amplificar instrumentos musicales, conferencias, etc. Por el contrario, los amplificadores estereofónicos tienen dos canales de amplificación y se usan especialmente en sistemas de sonido dedicados a la reproducción de música.

En esta ocasión elaboraremos un amplificador de sonido estéreo, ya que éstos son los más usados actualmente, y, además, porque está conformado por dos amplificadores monofónicos iguales. En la **figura 22.1** se observa el diagrama esquemático del circuito el cual incluye la fuente de poder. Este circuito forma lo que se llama "etapa de potencia". Para obtener un sistema de sonido completo se requiere de un preamplificador estéreo al cual se conectan las diferentes fuentes sonoras, ya sean: radio FM, *walkman*, *discman*, reproductor MP3, reproductor de casetes, etc.

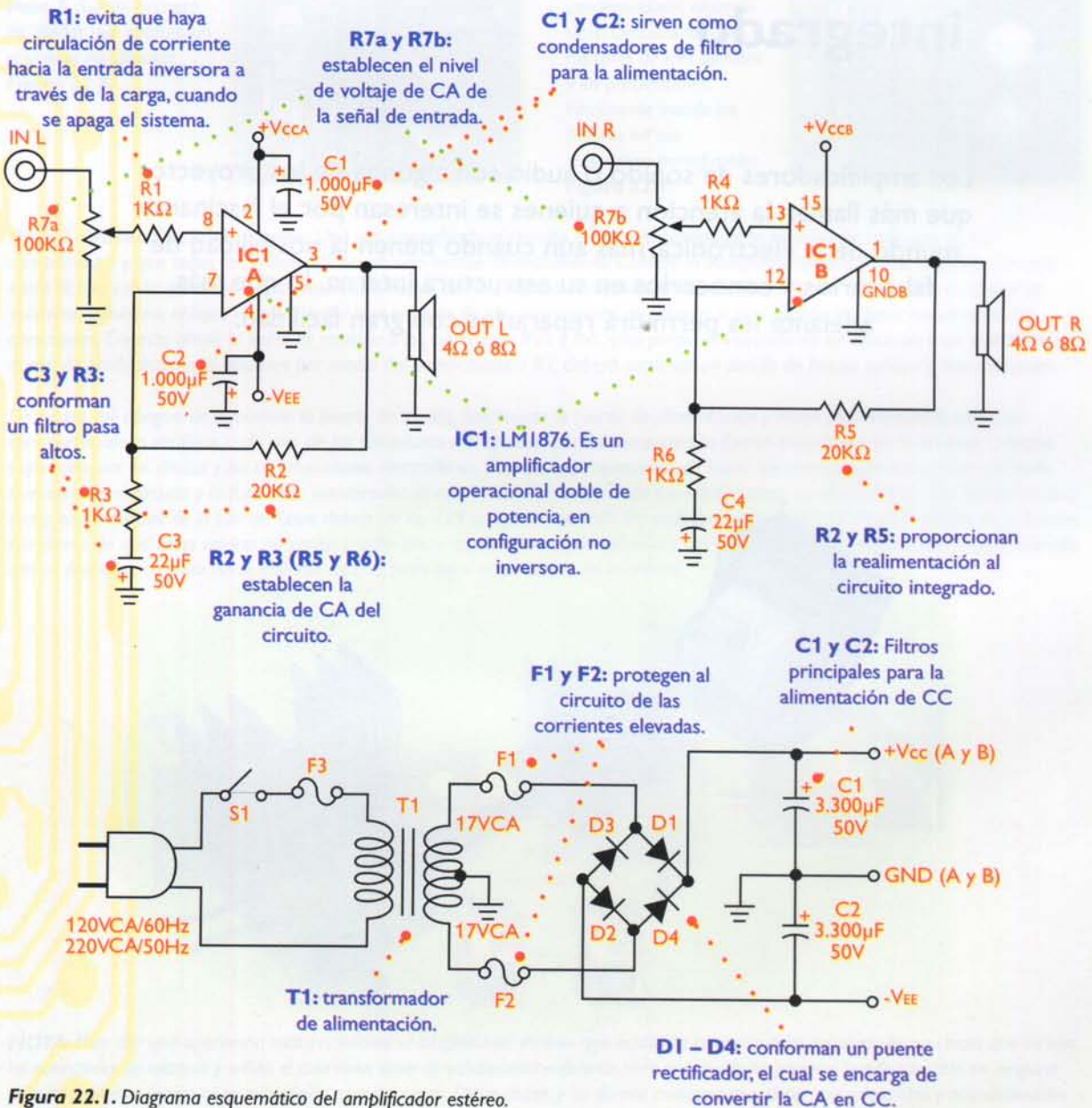


Figura 22.1. Diagrama esquemático del amplificador estéreo.

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

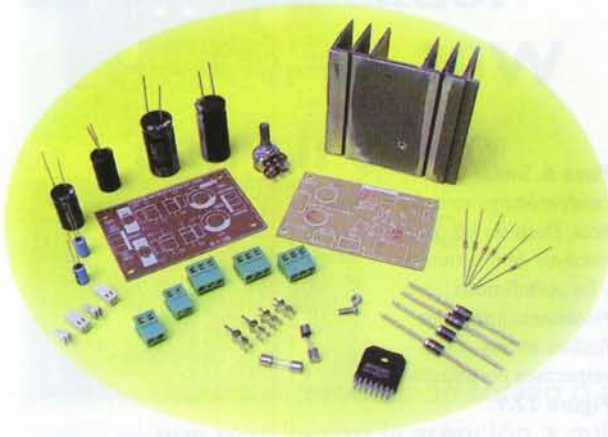


Figura 22.2. Componentes que conforman el kit.

Lista de materiales	
1.	1 Circuito impreso CEKIT referencia K-173
2.	1 Circuito impreso CEKIT referencia K-115B
3.	2 Condensadores de 1.000 $\mu\text{f}/50\text{V}$
4.	2 Condensadores de 3.300 $\mu\text{f}/50\text{V}$
5.	2 Condensadores de 22 $\mu\text{f}/50\text{V}$
6.	2 Resistencias de 20K Ω – 1/4W
7.	4 Resistencias de 1K Ω – 1/4W
8.	1 Potenciómetro doble de 100K Ω
9.	4 Diodos rectificadores 1N5402
10.	1 Circuito integrado LM1876TF
11.	1 Disipador de calor para LM1876 (K173)
12.	1 Tornillo milimétrico de 3x7 con tuerca
13.	2 Conectores de dos tornillos
14.	3 Conectores de tres tornillos
15.	2 Conectores en línea (blancos) de dos pines
16.	2 Fusibles cortos de 3 amperios
17.	2 Pares de portafusibles cortos para circuito impreso
18.	1 Transformador MAGOM referencia M14 o similar (Prim 110V a 220V. Sec 17V-0-17V/ 3A)

El amplificador estéreo de 20W se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia K-173, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para las señales de entrada, los parlantes de salida y la fuente de alimentación, la cual se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia K-115B.

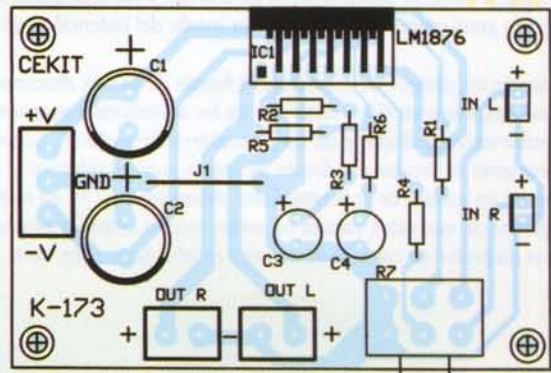


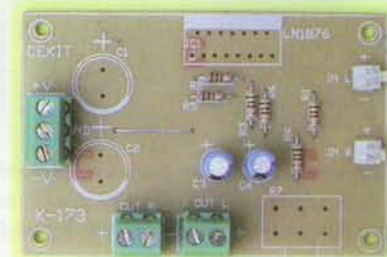
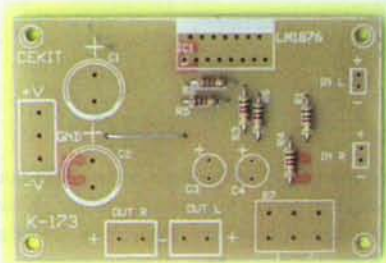
Figura 22.3. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

Ensamble una tarjeta a la vez, comenzando por el amplificador de potencia (K-173)

Paso 1. Instale y suelde primero el puente de alambre y las seis resistencias. **Figura 22.4**

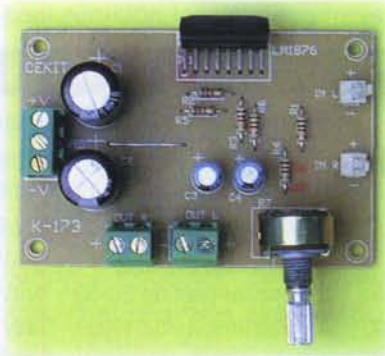
Paso 2. Luego instale los condensadores electrolíticos pequeños, y los conectores de alimentación, entrada y salida. **Figura 22.5.**



Paso 3.

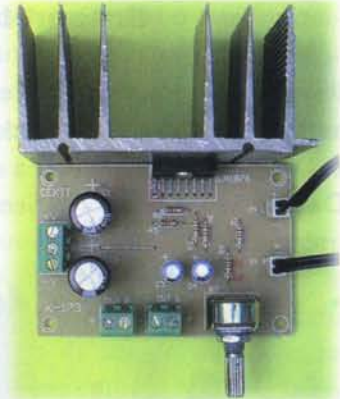
Posteriormente, suelde el potenciómetro R7, los condensadores electrolíticos C1 y C2 y el circuito integrado LM1876.

Figura 22.6



Paso 4. Luego instale el disipador de calor. El tornillo que asegura el circuito integrado debe quedar lo más apretado posible, sin dañarlo.

Figura 22.7



Posteriormente ensamble la fuente de alimentación (K-115B), así:

Paso 5. Suelde primero los diodos que conforman el puente rectificador.

Figura 22.8.



Paso 6. Suelde los condensadores electrolíticos. Después los conectores de tres tornillos y los portafusibles.

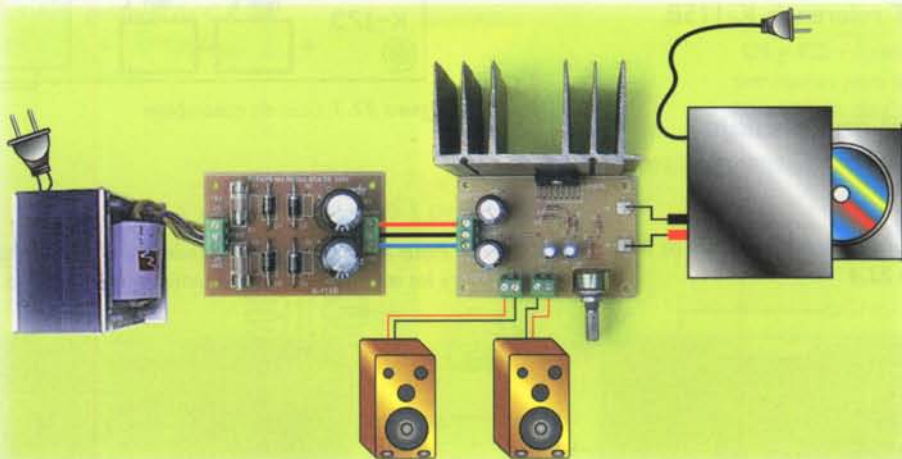
Finalmente instale los fusibles en sus respectivos portafusibles.

Figura 22.9.



Paso 7. Prueba final del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente la posición de cada uno de los componentes y que todas las soldaduras hayan sido hechas correctamente. Conecte el transformador a la fuente y ambos circuitos entre sí; a la salida del amplificador instale dos bafles con la potencia apropiada (mínimo 50W).

De no ser así, apague de inmediato la fuente de sonido, desconecte la fuente de alimentación y revise detenidamente todas las conexiones; luego verifique cada una de las soldaduras y asegúrese que los componentes fueron conectados en la posición correcta, especialmente los diodos y los condensadores electrolíticos. Cuando haya terminado de hacer las correcciones necesarias, encienda nuevamente el circuito y la fuente de sonido, suba el volumen al máximo y mida los voltajes tanto en el secundario del transformador, como en las salidas de la fuente. Éstos deben ser de 17V en cada devanado del transformador y de $\pm 28V$ en las salidas de la fuente. Asegúrese de que estos valores no varien mucho entre las condiciones de máximo y mínimo volumen del amplificador. Revise además que el disipador de calor no se caliente mucho, pues debe estar dentro de lo normal.



NOTA: Para dar una apariencia más profesional al amplificador estéreo que acaba de construir, debe instalarlo en un chasis que incluya los conectores de entrada y salida, el cual debe tener la señalización suficiente para que cualquier persona pueda operarlo sin ninguna dificultad; de esta forma su manipulación es más segura. Dicho chasis y los demás componentes, deben ser adquiridos y acondicionados por usted.

Muchas aplicaciones de la electrónica requieren del manejo de lámparas de CC, ya que éstas se encuentran en una gran cantidad de circuitos, los cuales comprenden juegos, luces de emergencia, las luces de los automóviles u otros circuitos operados por baterías. Gracias a los avances de la electrónica, en la actualidad no tenemos que limitarnos a encender y apagar las lámparas, sino que además, tenemos la posibilidad de controlar la cantidad de luz que éstas emiten, lo cual nos permite generar los ambientes adecuados.

Existen principalmente dos métodos para controlar la intensidad de la luz producida por una lámpara de CC. Uno de ellos consiste en limitar la corriente que llega a la misma mediante una resistencia variable, por ejemplo: con un potencióme-

tro; el otro método consiste en un regulador electrónico el cual está constituido básicamente por un circuito oscilador que genera una serie de pulsos (con los niveles de voltaje y de corriente apropiados) y un amplificador de corriente. La variación de la frecuencia de los pulsos nos permite controlar la cantidad de luz emitida por la lámpara, debido a que ella no permanecerá encendida todo el tiempo sino sólo cuando los pulsos tengan un nivel alto; el resto del tiempo permanecerá apagada. Esta transición entre encendido y apagado se hace a una velocidad muy elevada, por lo que dicho cambio de estado es imperceptible a simple vista. Este tipo de circuito es el que construiremos en esta ocasión. En la **figura 23.1** se observa el diagrama esquemático para el circuito. Este circuito también se puede utilizar como control de velocidad para un motor de CC.

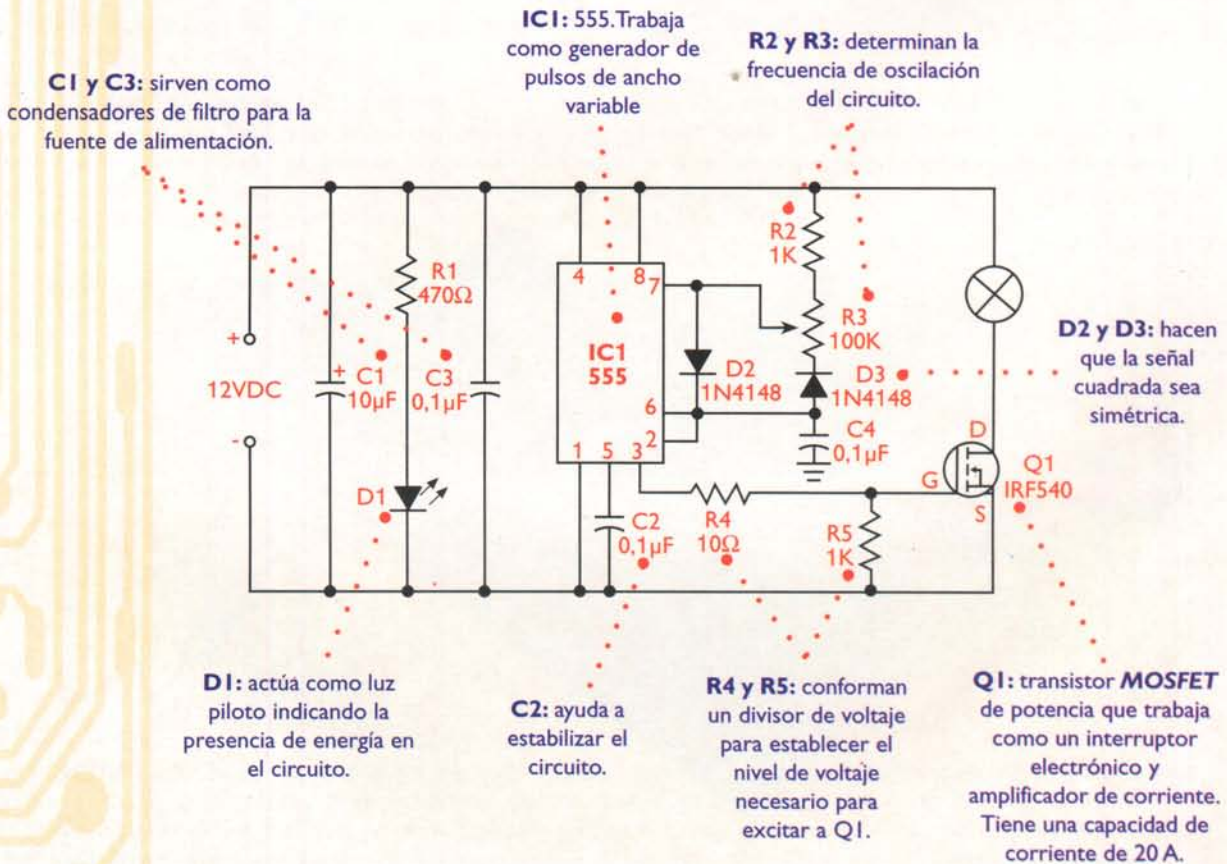


Figura 23.1. Diagrama esquemático del atenuador para lámpara de CC.

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

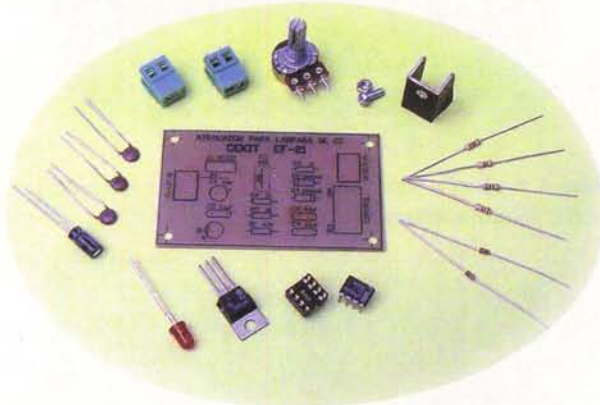


Figura 23.2. Componentes que conforman el kit

El atenuador para lámpara de CC se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-21, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación y para la lámpara que se desea controlar.

Lista de materiales	
1.	1 Circuito integrado 555
2.	1 Base para circuito integrado de 8 pines
3.	1 Condensador electrolítico de 10µf/25V
4.	3 Condensadores cerámicos de 0,1 µf/50V
5.	1 Diodo LED rojo de 5mm
6.	2 Resistencias de 1KΩ, 1/4W
7.	1 Resistencia de 10Ω, 1/4W
8.	1 Resistencia de 470Ω, 1/4W
9.	1 Potenciómetro lineal de 100KΩ
10.	2 Conectores de 2 tornillos
11.	2 Diodos 1N4148
12.	1 Transistor MOSFET IRF540
13.	1 Disipador de calor para TO-220
14.	1 Tornillo milimétrico de 3x7 con tuerca
15.	1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-21

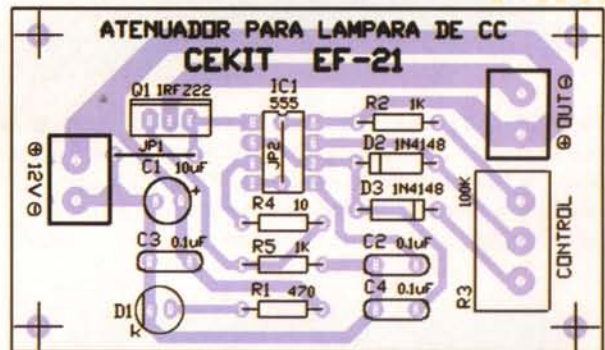


Figura 23.3. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero el puente de alambre, las resistencias y los diodos 1N4148. **Figura 23.4**

Paso 2. Luego instale la base para el circuito integrado. **Figura 23.5.**



Proyectos

Paso 3. Posteriormente suelde los condensadores cerámicos y el diodo LED. **Figura 23.6.**



Paso 4. Después instale los conectores de dos tornillos. **Figura 23.7.**



Paso 5. Luego suelde el potenciómetro, el transistor y el condensador electrolítico. **Figura 23.8.**



Paso 6. Finalmente instale el dissipador de calor en el transistor e inserte el circuito integrado en su base. **Figura 23.9.**



Paso 7. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente, que todas las soldaduras hayan sido bien hechas y que los componentes estén ubicados en la posición correcta, principalmente el condensador electrolítico, los diodos y el transistor. Conecte el circuito a la fuente de alimentación (sin carga), y verifique que ningún componente se caliente. Posteriormente conecte a la salida una lámpara de 12V y mueva el potenciómetro, la intensidad de la luz debe variar a medida que éste gira. De no ser así, verifique que las conexiones hayan sido hechas correctamente. **Figuras 23.10**



Bajo brillo





Alto brillo

IMPORTANTE: los pulsos conformados por el circuito oscilador tienen la misma amplitud del voltaje de la fuente, debido a esto, el circuito entrega una salida de 12V, razón por la cual las lámparas que se le conecten deben ser de 12V, por ejemplo una lámpara de automóvil. Recuerde que existen gran variedad de lámparas, cada una de ellas con diferente consumo de potencia, y que, a mayor consumo, más se calentará el transistor de salida. Debido a esto debe disponerse de un dissipador de calor que impida que él se sobrecaliente y en el peor de los casos se destruya. Además, dependiendo de la cantidad de corriente exigida por la lámpara, se requiere que la fuente de alimentación tenga la capacidad de corriente adecuada. La máxima corriente que soporta este circuito es de 10 amperios.

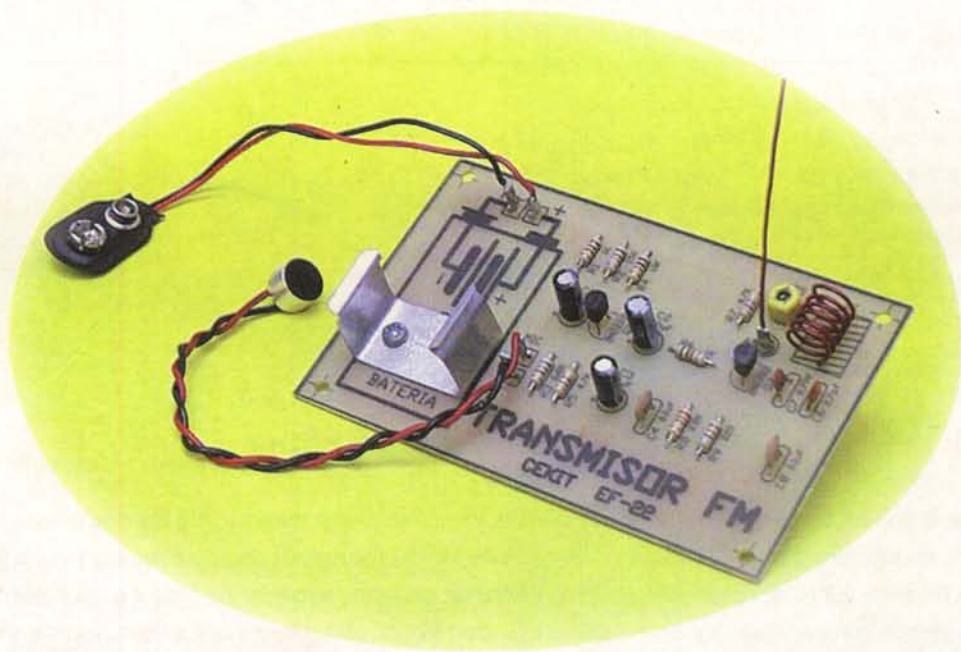


Proyecto 24

Transmisor de FM en miniatura

Costo del proyecto:  
Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

Este sencillo circuito le permitirá transmitir señales de audio en un área de aproximadamente 100m de radio. La señal emitida por el mismo puede ser sintonizada en cualquier punto del dial de su radio en FM, pues su frecuencia de transmisión puede ser fácilmente localizada entre los 88 y los 108MHz. Sus usos son prácticamente ilimitados, puede ser empleado como monitor para bebés, como micrófono inalámbrico para conferencias, para hacerle bromas a los amigos, o cualquier otra idea que se le ocurra; recuerde que el límite lo pone su imaginación.



Una de las aplicaciones más fascinantes de la electrónica, son las comunicaciones inalámbricas. El proyecto que nos ocupa en esta ocasión le permitirá iniciarse en dicho campo. Este tipo de comunicaciones están regidas por las normas de cada país, por lo cual no se deben exceder ciertos límites; la omisión de dichos límites, es castigada con multas y sanciones. El transmisor de FM en miniatura ha sido diseñado de tal forma que no exceda dichos límites su frecuencia de oscilación está comprendida entre los 88 y los 130 MHz y el campo generado por las irradiaciones no supera los 50mV por metro, a una distancia de 15m del circuito. Si usted ensambla su circuito siguiendo las especificaciones que a continuación le daremos, no excederá dichos límites, pues cualquier modificación que se haga al circuito incluyendo, por ejemplo, una variación en el voltaje de alimentación, cambiará el alcance de la señal emitida. En la **figura 24.1** se observa el diagrama esquemático del circuito.

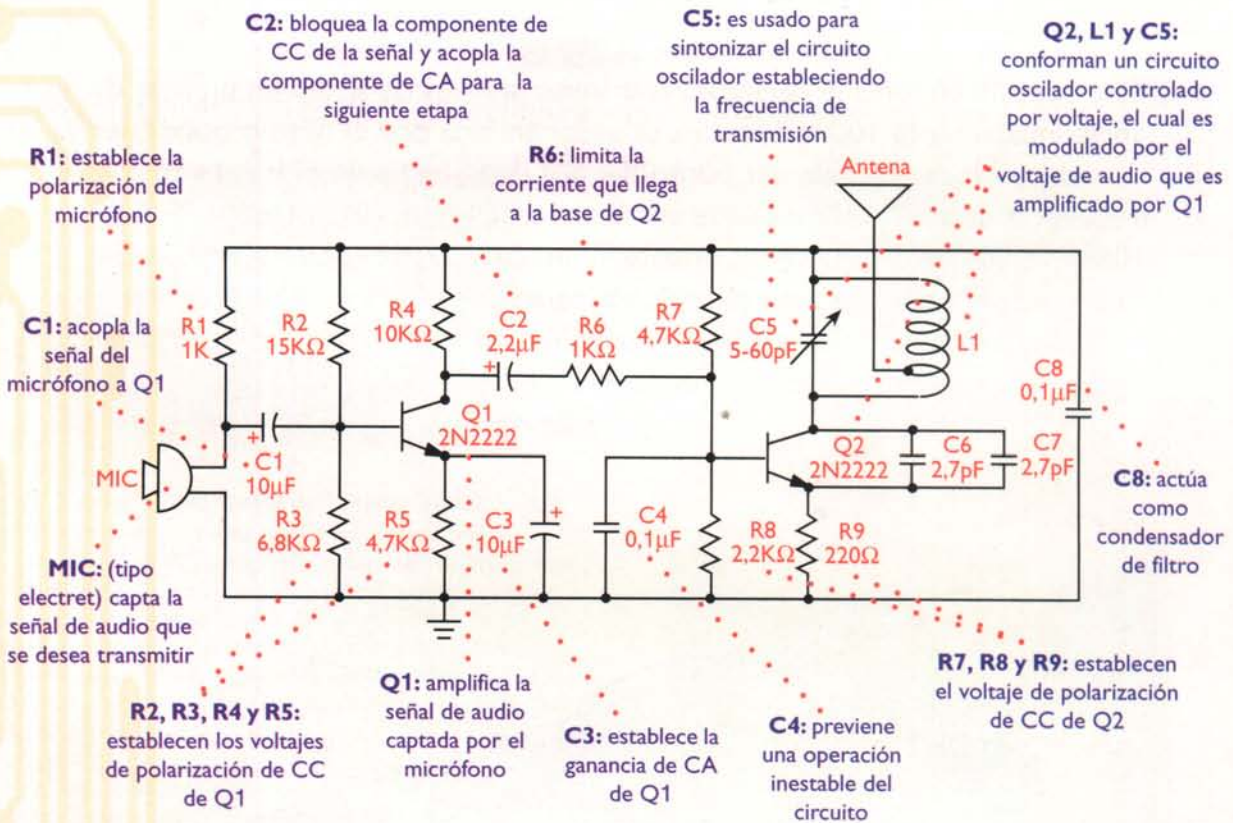


Figura 24.1. Diagrama esquemático del transmisor de FM en miniatura

Construcción de la bobina

Para fabricar la bobina, tome el alambre para puentes y córtelo por la mitad; tome los dos trozos resultantes y enróllelos en un lapicero común, dando 6 vueltas alrededor del mismo, tal como se muestra en la **figura 24.2**. Una vez hecho esto, retire el lapicero y separe las bobinas, teniendo especial cuidado en no deformarlas. Tome aquella que quede más uniforme y colóquela en su circuito, la otra, desenróllela nuevamente y úsela como antena. Se preguntará el por qué se sigue este procedimiento, que pareciera ilógico; la razón de ello es que de esta forma se asegura que la separación entre las espiras es la necesaria y que es igual entre ellas, lo cual asegura que el transmisor de FM funcione correctamente.

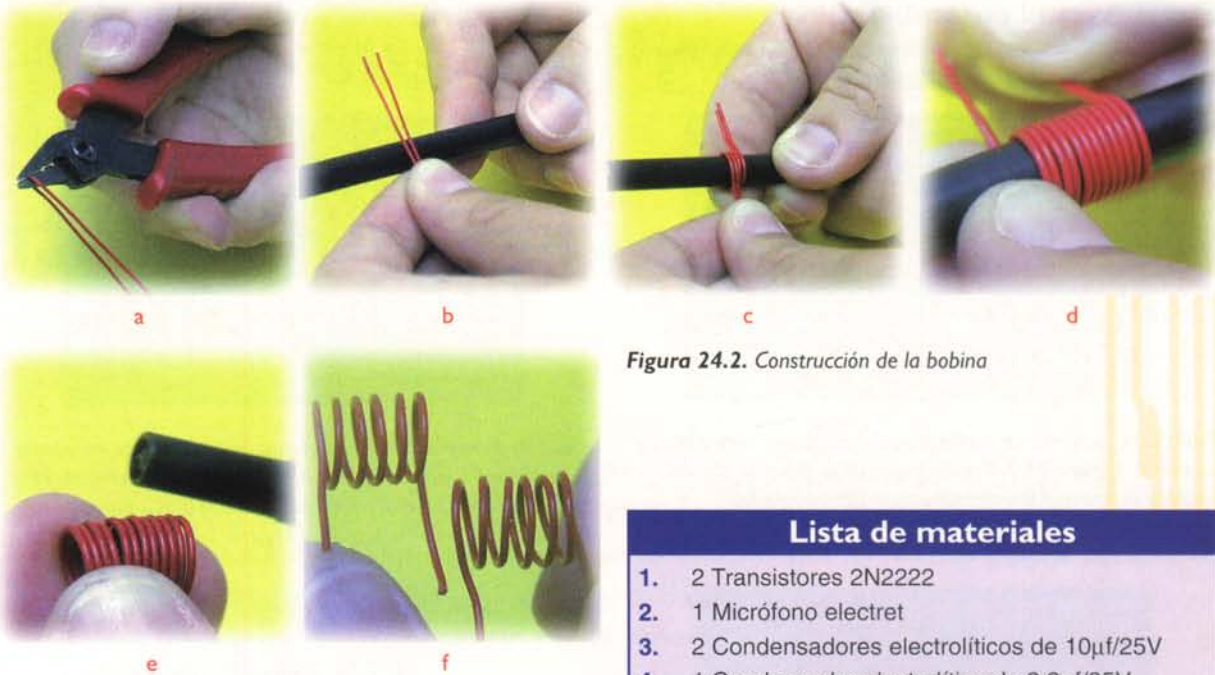


Figura 24.2. Construcción de la bobina

Ensamblaje

Antes de empezar a ensamblar el circuito debe asegurarse de que posee todos los componentes necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.



Figura 24.3. Componentes que conforman el Kit

El transmisor de FM en miniatura se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-22, en el cual se indica la posición de los componentes.

Lista de materiales

1. 2 Transistores 2N2222
2. 1 Micrófono electret
3. 2 Condensadores electrolíticos de 10 μ f/25V
4. 1 Condensador electrolítico de 2,2 μ f/25V
5. 2 Condensadores cerámicos de 0,1 μ f/50V
6. 2 Condensadores cerámicos de 2,7pf/50V
7. 1 Condensador ajustable de 5 – 60 pf (trimmer)
8. 2 Resistencias de 1K Ω , 1/4 W
9. 1 Resistencia de 15K Ω , 1/4 W
10. 1 Resistencia de 6,8K Ω , 1/4 W
11. 1 Resistencia de 10K Ω , 1/4 W
12. 2 Resistencias de 4,7K Ω , 1/4 W
13. 1 Resistencia de 2,2K Ω , 1/4 W
14. 1 Resistencia de 220 Ω , 1/4 W
15. 50 cm. de alambre para puentes
16. 2 Tornillos milimétricos de 3x7 con tuerca
17. 1 Soporte para batería de 9V
18. 1 Conector para batería de 9V
19. 5 Conectores para circuito impreso (espadines)
20. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-22

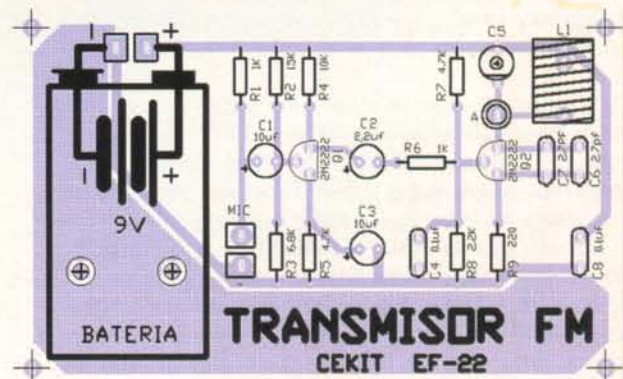
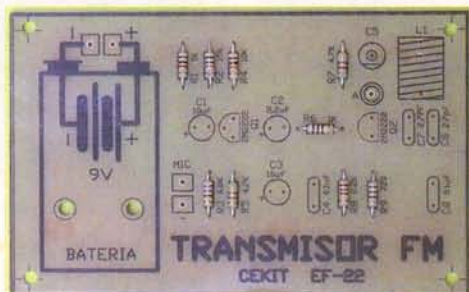


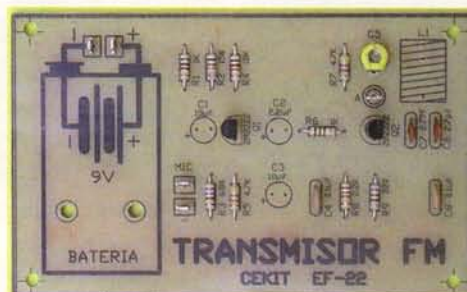
Figura 24.4. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

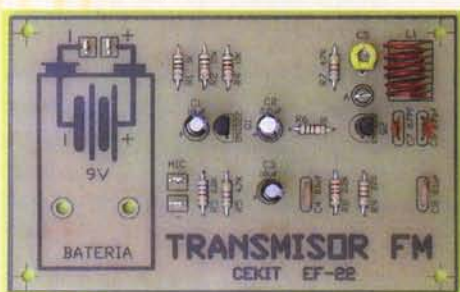
Paso 1. Suelde primero las resistencias ya que estos son los componentes de menor altura. **Figura 24.5**



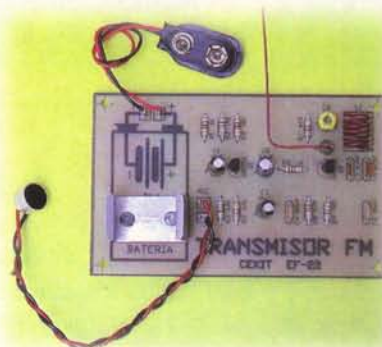
Paso 2. Luego instale los condensadores cerámicos, el condensador variable (trimmer), los cinco espadines y los transistores. **Figura 24.6.**



Paso 3. Posteriormente suelde los condensadores electrolíticos y la bobina. **Figura 24.7.** Recuerde que en la placa de circuito impreso el terminal identificado con el signo (-) en los condensadores debe quedar ubicado al lado opuesto del identificado con el signo (+)



Paso 4. Finalmente suelde el micrófono, teniendo en cuenta su polaridad, la antena y el conector para la batería de 9V a los espadines respectivos y asegure el soporte para la batería mediante los tornillos. **Figura 24.8.**



Paso 5. Prueba y calibración del circuito. Una vez que esté seguro de que todos los componentes han sido instalados correctamente, puede proceder a la prueba y calibración del circuito. Para ello, ubique una radio en FM cerca del circuito. Busque en el dial un punto en silencio (sin emisoras) y suba el volumen del receptor hasta un punto donde usted pueda oír la interferencia. Conecte una batería de 9V al circuito y escuche atentamente la radio. Lentamente, y con la ayuda de un atornillador pequeño, ajuste el condensador trimmer C5, **Figura 24.9**, hasta que en el receptor se escuche un silbido o sonido similar, lo cual quiere decir que en dicho punto se ha sintonizado en el transmisor la frecuencia del dial. En este momento puede hablar por el micrófono y se debe escuchar en la radio lo que se habla. Si en la frecuencia seleccionada no se logra una buena recepción, repita este procedimiento en otra parte de la banda de FM.



Si lo prefiere, en lugar de variar el condensador, sintonice la radio hasta hallar el punto donde encuentre la mejor recepción (silencio). Si después de hacer ésto no consigue sintonizar el transmisor, puede ajustar la bobina que conforma el circuito oscilador juntado sus espiras para elevar la frecuencia, o separando las mismas, si lo que desea es reducirla un poco. Este circuito trabaja mucho mejor cuando es alimentado por una batería, pero si lo desea, puede hacerlo con una fuente de alimentación regulada como la EF-10 de este mismo curso; para ello asegúrese de que la fuente tenga un voltaje de rizado muy bajo, pues de lo contrario, éste producirá un desagradable zumbido en el receptor.

Sugerencias: si usted desea mejorar la calidad de la transmisión de su circuito, en vez de soldar la antena directamente sobre el circuito impreso, hágalo en la segunda espira de la bobina partiendo del punto donde ésta se une con el colector del transistor Q2. Adicionalmente, si desea tener la posibilidad de controlar el volumen del transmisor, cambie la resistencia R6 por un potenciómetro, el cual puede ser de aproximadamente $10k\Omega$. Para alargar la vida de la batería, desconéctela cuando no esté usando el transmisor.

Importante: CEKIT S.A. no se hace responsable del uso ilegal que se le dé a este circuito.

En la **figura 25.1** se muestra el diagrama esquemático del control de aparatos con la voz, identificado con la referencia EF-23 de CEKIT. También se indican las funciones de los componentes clave. La señal producida por el micrófono (MIC1) se acopla capacitivamente a la entrada de un amplificador en emisor común con transistor (Q1), el cual la lleva hasta un nivel suficiente para excitar una de las entradas de un comparador de voltaje (IC1). La otra entrada recibe un voltaje de referencia, determinado por P1.

Cuando la amplitud de la señal de voz supera este umbral de referencia, el comparador produce un nivel alto en su salida, con lo cual conduce el transistor Q2, se dispara el rele (K1) y se conecta o desconecta la carga externa conectada a los contactos de salida de este último.

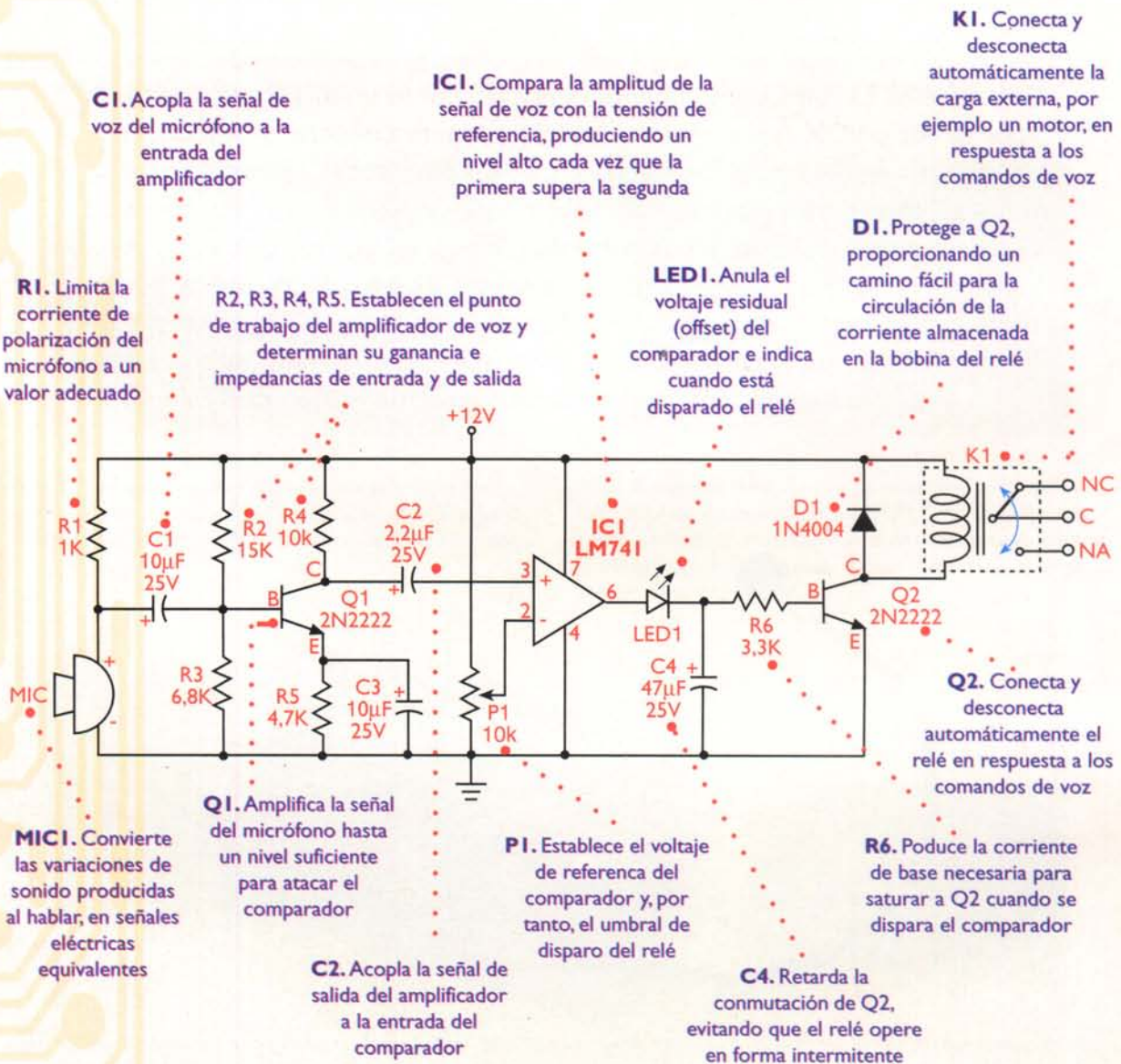


Figura 25.1. Diagrama esquemático del control de aparatos con la voz

Ensamblaje

El ensamblaje del proyecto se efectúa en la forma usual, como se explica paso a paso en las siguientes fotografías. De todas formas, antes de comenzar el ensamblaje, asegúrese que posee todos los componentes necesarios. Para ello, revise con cuidado la lista de materiales adjunta.

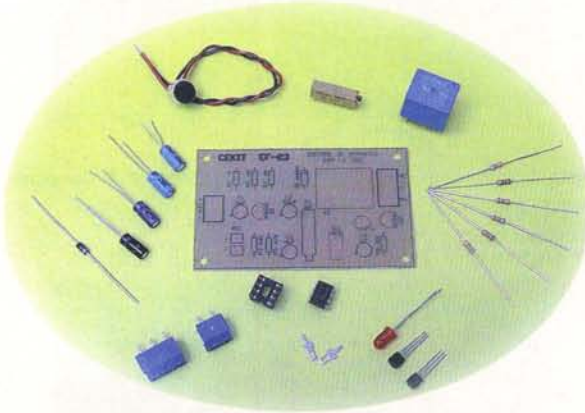
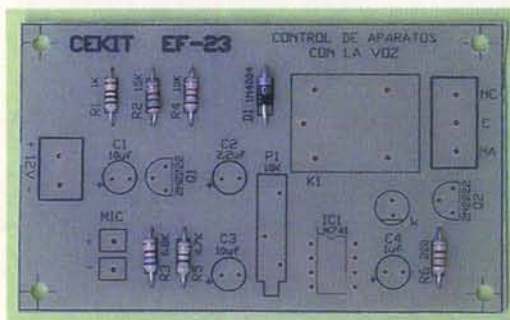


Figura 25.2. Componentes que conforman el kit

El control de aparatos con la voz se ensambla sobre el circuito impreso CEKIT referencia EF-23, en el cual se indica la posición de los componentes.

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero todos los componentes de bajo perfil: las resistencias (R1 a R6) y el diodo rectificador 1N4004 (D1).



Lista de materiales	
1.	1 (IC1) Circuito integrado LM741
2.	2 (Q1 y Q2) Transistores de propósito general NPN, 2N2222
3.	1 (D1) Diodo rectificador de propósito general 1N4004
4.	1 (LED1) Diodo LED rojo de 5mm
5.	2 (C1 y C3) Condensadores electrolíticos de 10uF-25V
6.	1 (C2) Condensador electrolítico de 2,2uF - 25V
7.	1 (C4) Condensador electrolítico de 47uF - 25V
8.	1 (R1) Resistencias de 1k - 1/4W
9.	1 (R2) Resistencia de 15k - 1/4W
10.	1 (R3) Resistencia de 6,8k - 1/4W
11.	1 (R4) Resistencia de 10k - 1/4W
12.	1 (R5) Resistencia de 4,7k - 1/4W
13.	1 (R6) Resistencia de 3,3k - 1/4W
14.	1 (P1) Trimmer de 10k
15.	1 (K1) Relé de 12V
16.	1 (MIC) Micrófono electret miniatura con cable
17.	1 Circuito impreso CEKIT EF-23
18.	1 Conector de tornillo de 2 pines, para impreso
19.	1 Conector de tornillo de 3 pines, para impreso
20.	1 Base para circuito integrado de 8 pines
21.	2 Espadines

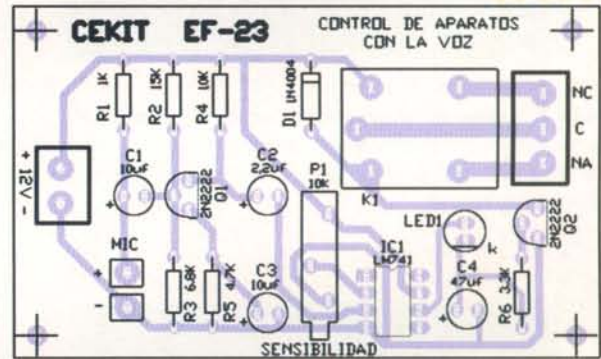


Figura 25.3. Guía de ensamblaje del circuito

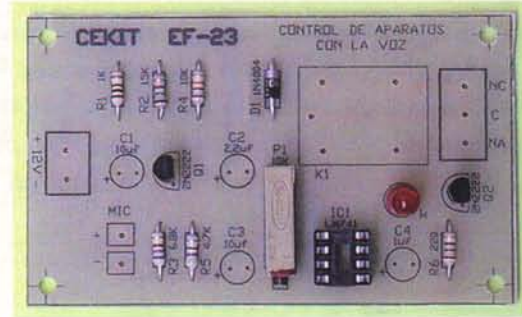
Paso 2. Luego instale y suelde la base para el circuito integrado IC1 y los dos transistores NPN (Q1 y Q2).



Paso 3. Después ubique y suelde el trimmer resistivo de 10K (P1), que sirve para ajustar la sensibilidad del circuito



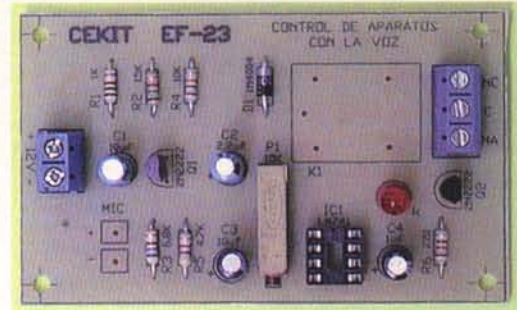
Paso 4. Luego verifique la posición del cátodo (k) del diodo LED (LED1) y suéldelo en el circuito impreso, teniendo la precaución de orientarlo adecuadamente, como se indica en la guía de ensamblaje.



Paso 5. A continuación, instale y suelde los condensadores electrolíticos C1 a C4 adecuadamente orientados sobre el circuito impreso.



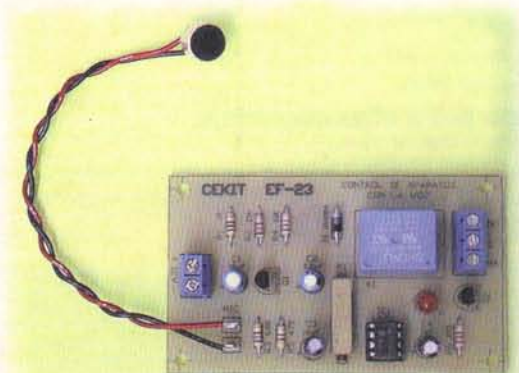
Paso 6. Posteriormente ubique y suelde el conector de dos pines para la entrada de alimentación, y el de tres pines para los contactos del relé de salida.



Paso 7. Finalmente, instale y suelde los dos terminales para circuito impreso (espaldines) que se utilizarán para conectar el micrófono, y el relé de salida de 12V (K1) necesario para ejercer la acción de control.



Paso 8. Aspecto final. En esta figura se muestra la apariencia del control de aparatos con la voz EF-23 CEKIT, después de soldar el micrófono de carbón miniatura a los correspondientes terminales del circuito impreso e insertar el circuito integrado LM741 en su base.



Paso 9. Prueba y calibración del circuito. Una vez instalados y soldados todos los componentes del circuito correctamente, se puede utilizar una fuente de 12VCC o una batería para alimentarlo, y una vez hecho esto, use una fuente de sonido o su propia voz y un destornillador para ajustar la sensibilidad del circuito al nivel de disparo requerido. Para observar la respuesta del relé se recomienda construir un circuito sencillo que energice un bombillo a través de los contactos de éste, cada vez que recibe un sonido con el nivel adecuado.

Proyecto 26

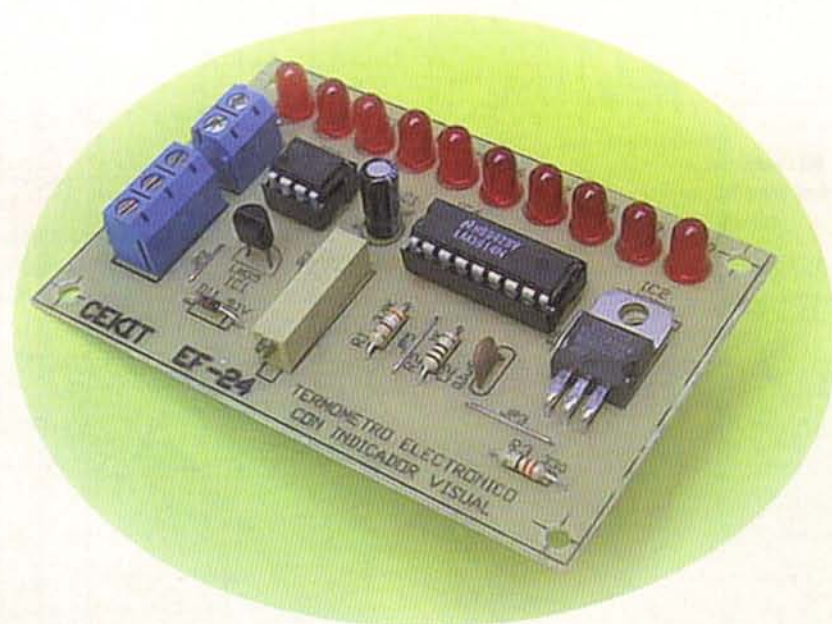
Medidor de temperatura con indicador visual

Costo del proyecto:



Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

La temperatura como una variable física ha sido cuantificada de innumerables formas, empleando diferentes tecnologías cada vez más sofisticadas. El proyecto que presentamos a continuación es un sencillo medidor de temperatura, que muestra el valor medido mediante una representación por gráfico de barras o de punto por medio de diodos LED.



Todas las variables físicas pueden ser cuantificadas, y, para ello, la electrónica emplea diferentes técnicas, las cuales van desde simples circuitos comparadores que toman una señal de referencia y la comparan con la medida, hasta circuitos más sofisticados, pasando por los conversores analógicos/digitales hasta los más complejos que usan microprocesadores y microcontroladores.

voltaje como los usados en el voltímetro luminoso, presentado en este mismo curso, es decir, este circuito integrado contiene todos los circuitos empleados en dicho proyecto. Además, nos brinda la posibilidad de seleccionar el modo de visualización que deseemos, ya sea por gráfico de barra, o de puntos, dependiendo de las conexiones hechas entre algunos de sus terminales.

El proyecto que presentamos a continuación emplea el circuito integrado LM3914, el cual está conformado por una serie de comparadores de

En la **figura 26.1** se observa el diagrama esquemático del circuito el cual incluye el sensor de temperatura.

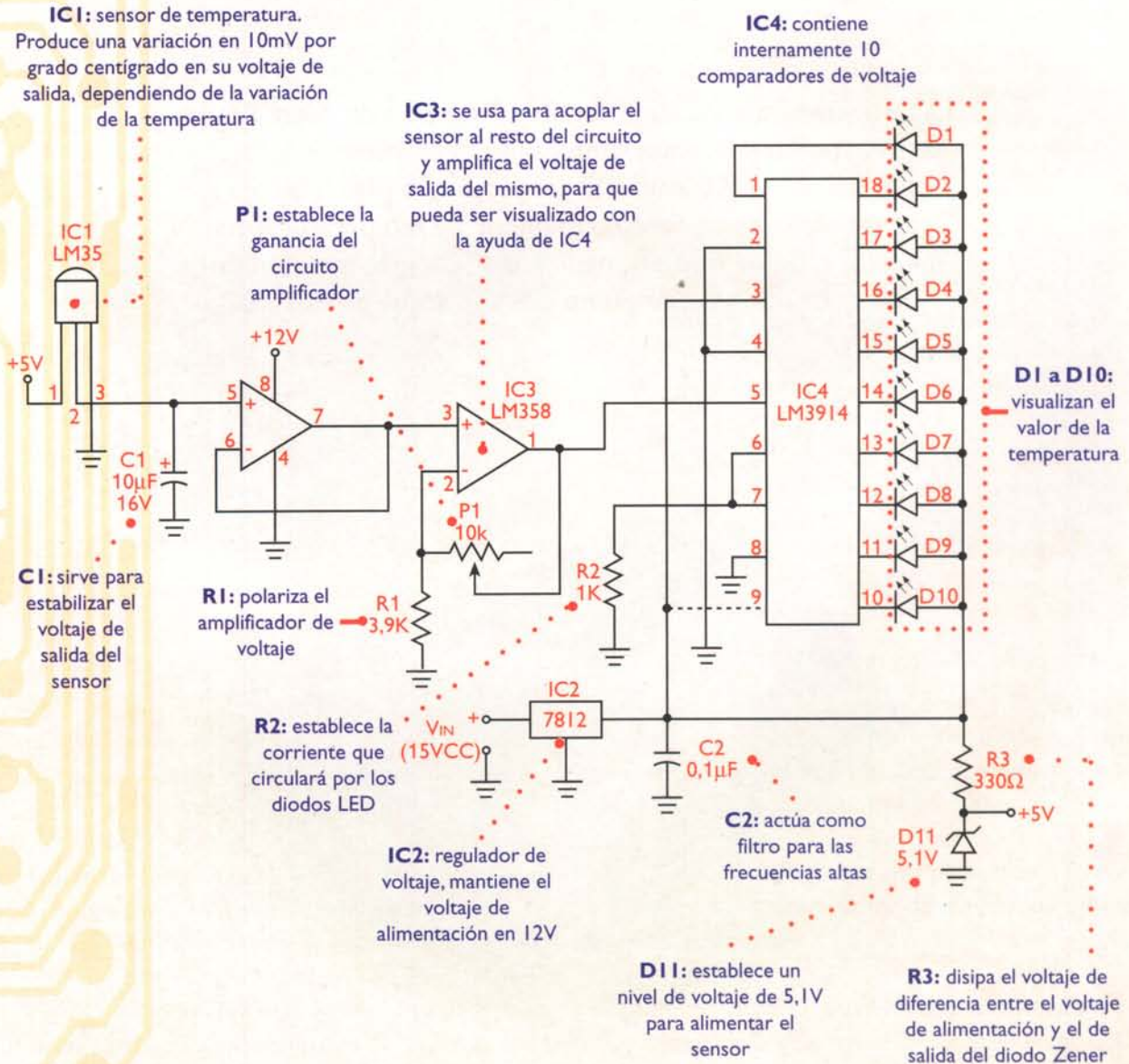


Figura 26.1. Diagrama esquemático del medidor de temperatura.



Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

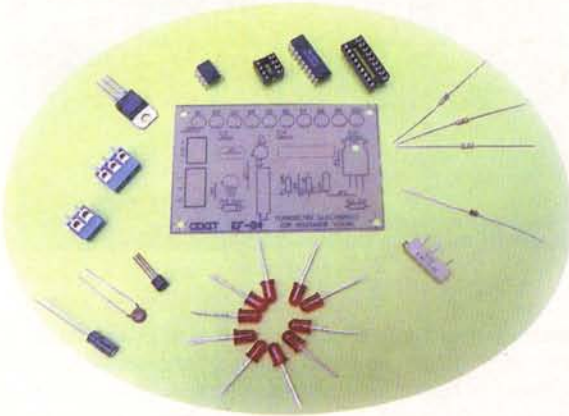


Figura 26.2. Componentes que conforman el kit

El termómetro electrónico, con indicador visual, se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-24, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación, y una auxiliar para usar el sensor alejado del resto del circuito.

Lista de materiales

1. 1 Circuito integrado LM35
2. 1 Condensador electrolítico de 10uf/25V
3. 1 Condensador cerámico de 0,1uf/50V
4. 1 Circuito integrado LM358
5. 1 Base para circuito integrado de 8 pines
6. 1 Potenciómetro *trimmer* de 10K Ω
7. 1 Resistencia de 3,9K Ω 1/4W
8. 1 Resistencia de 1K Ω 1/4W
9. 1 Resistencia de 330 Ω 1/4W
10. 1 Circuito integrado LM7812
11. 1 Diodo Zener de 5,1V
12. 10 Diodos LED rojos de 5mm
13. 1 Circuito integrado LM3914
14. 1 Base para circuito integrado de 18 pines
15. 1 Conector de tornillo de dos pines
16. 1 Conector de tornillo de tres pines
17. 1 Circuito impreso referencia CEKIT EF-24

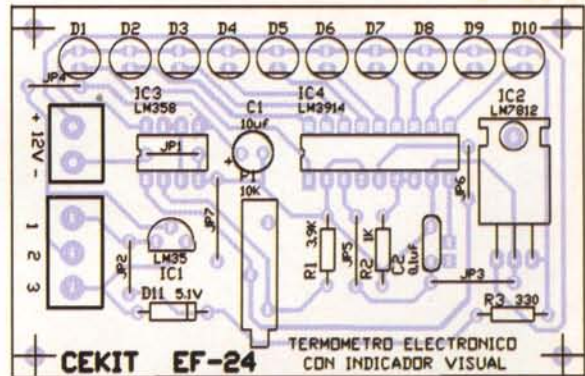
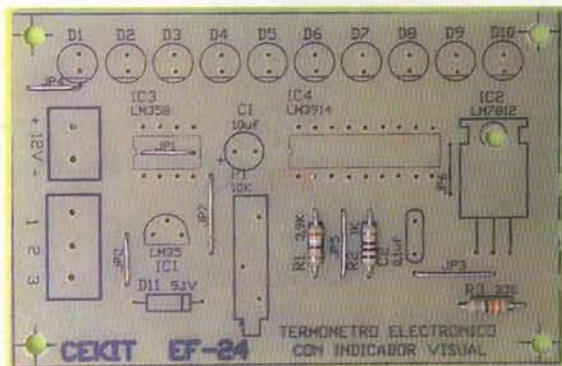


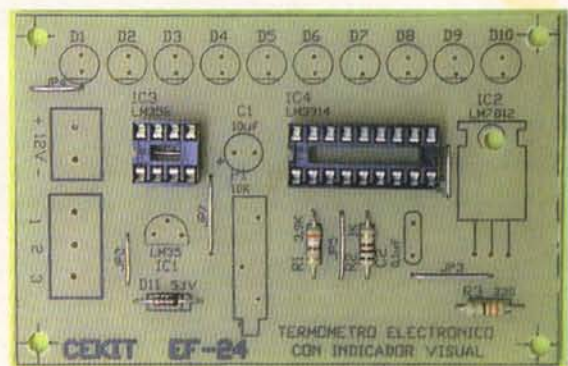
Figura 26.3. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre y las resistencias. **Figura 26.4**




Paso 2. Luego instale y suelde el diodo Zener D11 y las bases para los circuitos integrados IC3 e IC4. **Figura 26.5.**



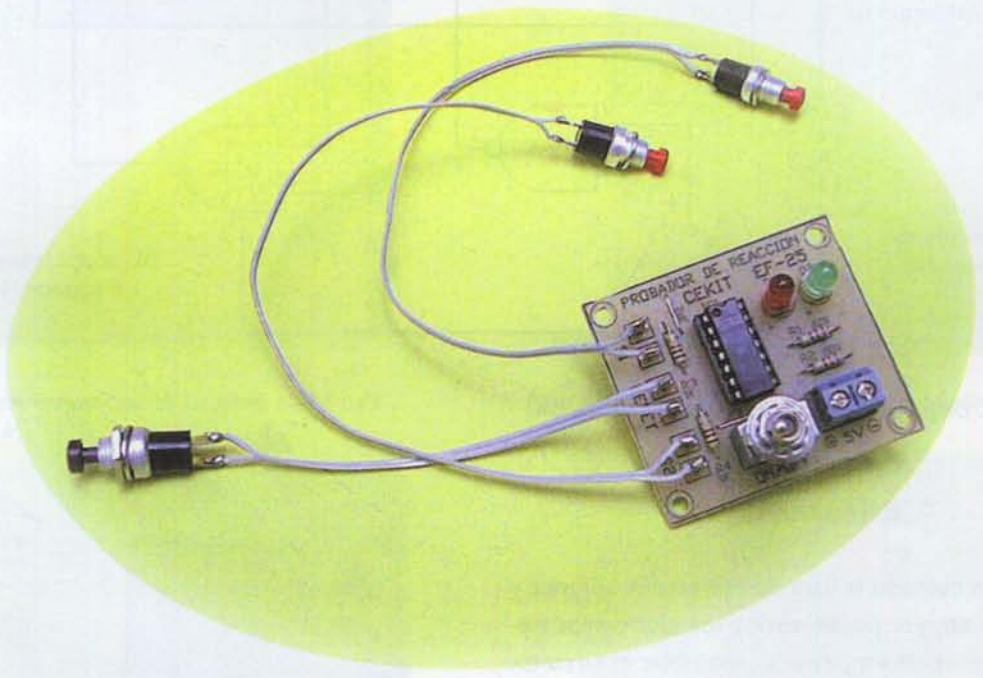


Proyecto 27

Probador de reacción

Costo del proyecto: 
Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

El proyecto que presentamos en esta ocasión ha sido diseñado con el fin de probar la rapidez con que reaccionan dos personas.



Lista de materiales

1. 1 Circuito integrado 7400
2. 1 Base para circuito integrado de 14 pines
3. 2 Resistencias de 220Ω a 1/4W
4. 2 Resistencias de 1KΩ a 1/4W
5. 1 Diodo Led rojo de 5mm
6. 1 Diodo Led verde de 5mm
7. 2 Pulsadores normalmente abiertos
8. 1 Pulsador normalmente cerrado
9. 1 Conector de dos tornillos
10. 8 Conectores para circuito impreso (espaldines)
11. 1 Interruptor miniatura de codillo de dos posiciones
12. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-25

El probador de reacción se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-25, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación y los pulsadores.

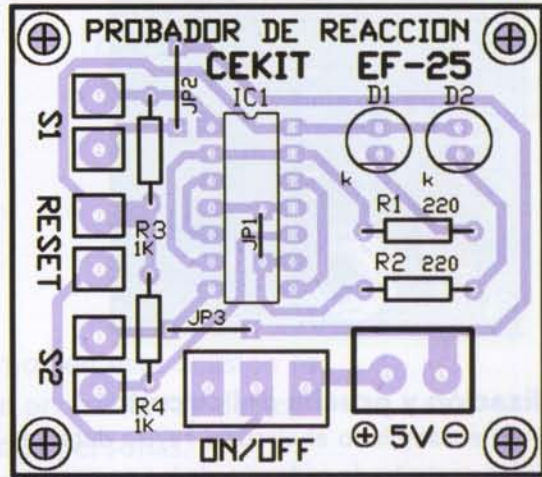
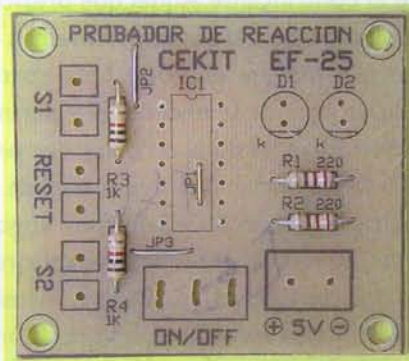


Figura 27.3. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

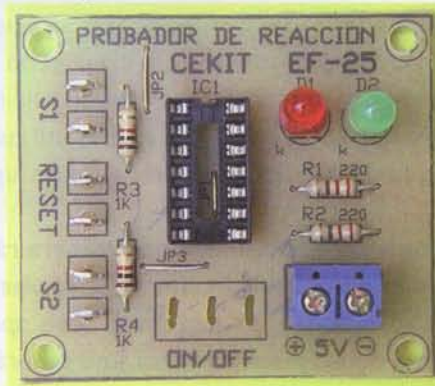
Paso 1. Instale y suelde primero los puentes de alambre y las resistencias. **Figura 27.4**

Paso 2. Luego instale la base para el circuito integrado. **Figura 27.5**



Paso 3. Posteriormente suelde los diodos LED D1 y D2. **Figura 27.6**

Paso 4. Después instale el conector de dos tornillos y los espaldines. **Figura 27.7**



Paso 5. A continuación ubique y suelde el interruptor principal de encendido ON/OFF. **Figura 27.8**

Nota: el pulsador de color negro es del tipo normalmente cerrado, por lo que corresponde al reset.



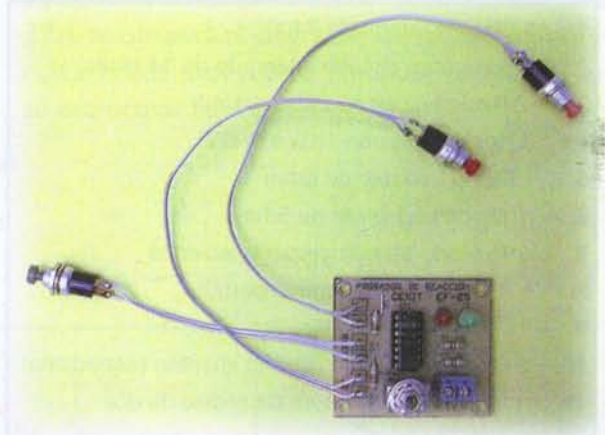
Utilización y prueba del circuito

Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente la posición de cada uno de los componentes y que todas las soldaduras hayan sido hechas correctamente. Conecte el circuito a la fuente de alimentación, y verifique que el circuito integrado no se caliente y que ninguno de los diodos LED se encienda; de ser así presione el pulsador identificado como RESET, inmediatamente el diodo LED encendido debe apagarse. Presione uno de los pulsadores denominados S1 y S2, el diodo LED correspondiente a dicho pulsador debe encenderse; una vez hecho esto, presione el otro pulsador, no debe ocurrir ningún cambio en el circuito. Presione el botón RESET y repita la operación, pero presionando primero el otro pulsador, el resultado debe ser equivalente al primero con la diferencia de que ahora debe encenderse el otro diodo LED.

Son innumerables las formas en que se puede utilizar este circuito. Normalmente el juego no requiere sino de dos personas. Sin embargo, una tercera persona que actúe como juez es muy útil cuando se desea hacer variaciones en el modo de jugar.

A continuación enunciaremos de manera rápida tres formas de usar el circuito. En todas las situaciones cada uno de los jugadores debe apropiarse de uno de los pulsadores, así, uno tendrá el

Paso 6. Finalmente inserte el circuito integrado IC1 y suelde cables para cada uno de los pulsadores (S1, S2 y RESET) y conéctelos en los respectivos espadines del circuito impreso. **Figura 27.9**



correspondiente al diodo LED rojo y el otro el correspondiente al LED verde.



En el primero de los casos ninguno de los jugadores puede tocar el pulsador que le corresponda hasta que el juez grite ¡YA!. En ese momento cada jugador hará lo posible por presionar el pulsador antes que el contrincante. Aquel que presione primero el pulsador será el ganador. Podemos darnos cuenta de ello porque el diodo LED correspondiente a dicho jugador se encenderá y permanecerá encendido aún cuando el otro jugador presione su pulsador. Para iniciar una nueva partida el juez deberá pulsar el botón RESET. Es muy importante resaltar que, aunque la diferencia de accionamiento de los dos pulsadores sea de una milésima de segundo, el circuito mostrará con precisión quién es el ganador. Nunca los dos diodos LED se encenderán simultáneamente.

Una tercera forma de usar este circuito, que resulta muy útil para poner a prueba los conocimientos adquiridos, ha obtenido gran popularidad en algunos programas de concurso transmitidos actualmente por televisión, en el que el juez hace una pregunta a los jugadores, aquel que conozca la respuesta deberá presionar el botón y tendrá derecho a responder; sin embargo, si dicho jugador no conoce la respuesta, los puntos serán sumados a su contrincante y así sucesivamente.

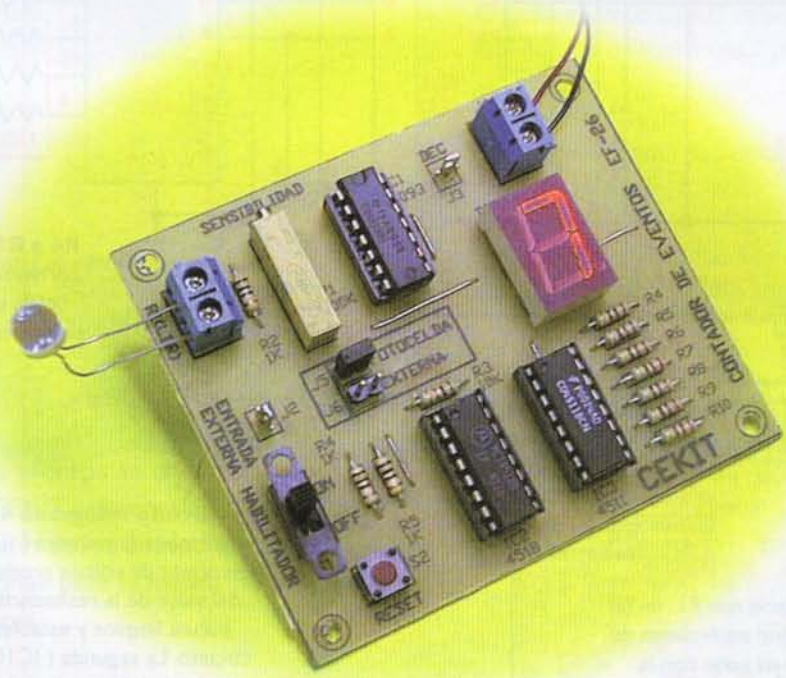


Proyecto 28

Contador de eventos

Costo del proyecto:  
 Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

El contador de eventos es una de las principales aplicaciones de la electrónica digital. En la industria, su tarea más común es el conteo de artículos pertenecientes a una línea de producción. El proyecto que presentamos a continuación es un sencillo circuito contador decimal (de cero a nueve), que, alimentado con una batería, podrá cumplir con dicho propósito.



Los contadores electrónicos digitales se utilizan ampliamente en diversas tareas tales como: el control de la producción en las fábricas, el conteo de personas en el acceso a establecimientos públicos y privados, el conteo de vehículos en un parqueadero, entre otros. En la **figura 28.1** se observa el diagrama esquemático de un sencillo contador de un dígito, en el cual se explica su funcionamiento y la función que desempeña cada uno de los componentes. Con este proyecto se estudia el funcionamiento básico de este tipo de circuitos, el cual es muy similar en circuitos más complejos.

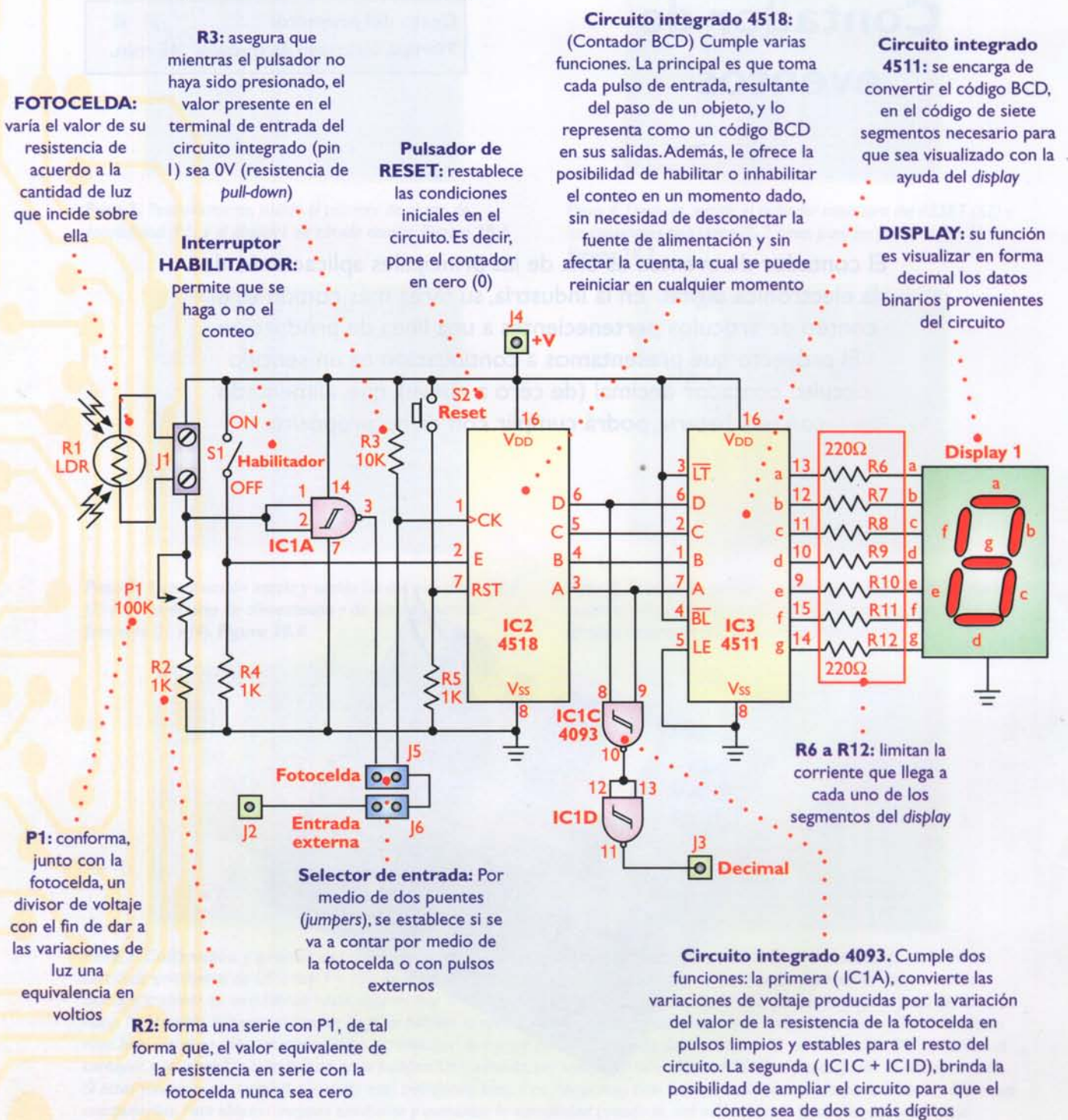


Figura 28.1. Diagrama esquemático del contador de eventos

En la **tabla 28.1** se muestra un resumen de las señales eléctricas presentes en cada una de las salidas del circuito, de acuerdo a la secuencia de conteo. Si de acuerdo a sus necesidades requiere de un circuito con mayor capacidad de conteo, puede ampliar éste conectando varios módulos iguales en cascada o en serie; así, por ejemplo, si se conectan dos módulos iguales el circuito podrá contar de 0 a 99; si se conectan tres módulos iguales, podrá contar de 0 a 999, y así sucesivamente.

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

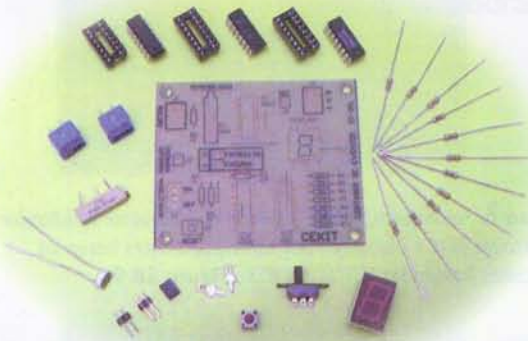


Figura 28.2. Componentes que conforman el kit

El contador de eventos se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-26, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación y los pulsadores.

	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
6	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
9	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9

Tabla 28.1. Valor de los datos binarios en el circuito

Lista de materiales

- 1 Circuito integrado CD4093 (IC1)
- 1 Circuito integrado CD4518 (IC2)
- 1 Circuito integrado CD4511 (IC3)
- 1 Display sencillo de cátodo común (DISPLAY1)
- 1 Trimmer de 100k (P1)
- 1 Fotorcelda (R1)
- 3 Resistencias de 1k - 1/4W (R2,R4,R5)
- 1 Resistencia de 10k - 1/4W (R3)
- 7 Resistencias de 220 Ω - 1/4W (R6 a R12)
- 1 Interruptor de corredera pequeño de 2 polos 2 posiciones (S1)
- 1 Pulsador pequeño de 4 pines para circuito impreso (S2)
- 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-26
- 2 Conectores de tornillo de 2 pines, para impreso (J1 y J4)
- 2 Espadines (J2 y J3)
- 2 Conectores macho tipo cerca no polarizados de 2 pines (J5 y J6)
- 1 Jumper
- 1 Base para circuito integrado de 14 pines
- 2 Bases para circuito integrado de 16 pines

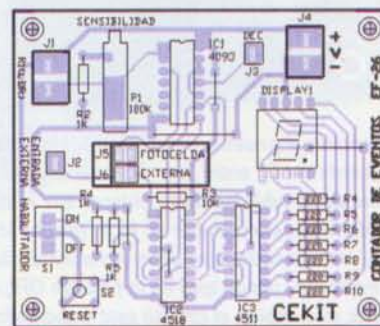
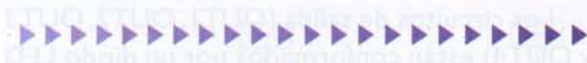


Figura 28.3. Guía de ensamblaje

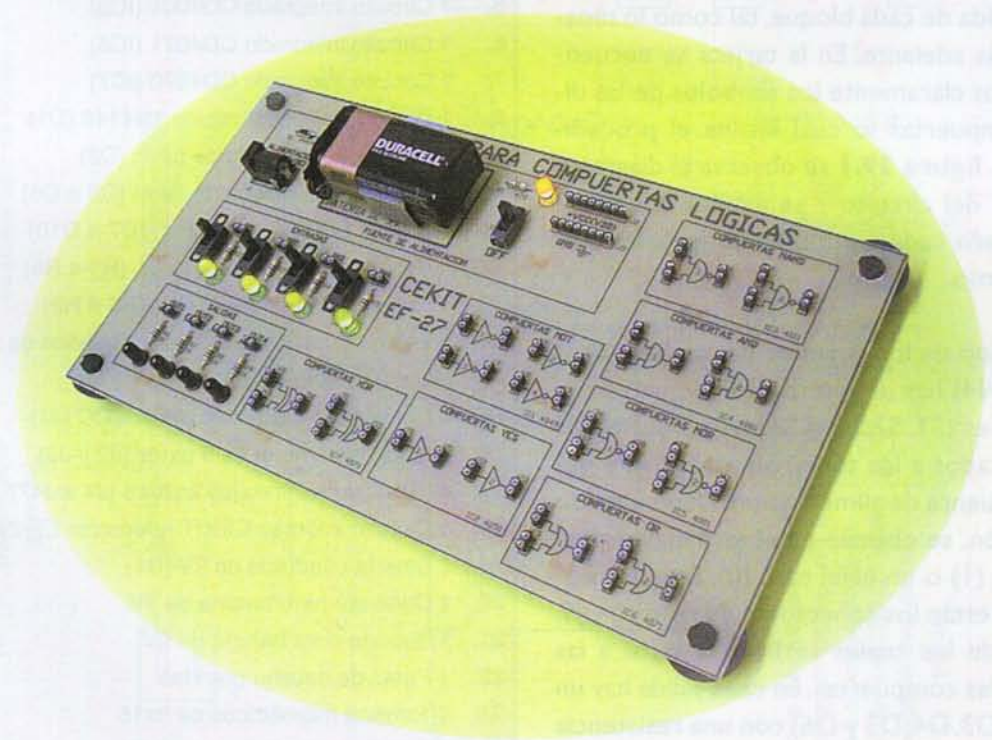


Proyecto 29

Entrenador para compuertas lógicas

Costo del proyecto: ✨ ✨
Tiempo estimado de trabajo: 45 min.

La electrónica digital se ha convertido en la base de toda la electrónica moderna y las compuertas lógicas son los componentes básicos fundamentales de esta tecnología. Este proyecto, de carácter didáctico, permite hacer en una sola tarjeta de circuito impreso todas las prácticas con estas compuertas estudiadas en la sección de teoría de este curso.



El aprendizaje de la electrónica digital siempre se inicia con el estudio del comportamiento de las compuertas lógicas. Este circuito le ahorrará mucho tiempo y le facilitará esta tarea. En él se han montado, en una forma muy didáctica y de fácil uso, siete compuertas (NOT, YES, NAND, AND, NOR, OR y EXOR) con tecnología CMOS, además de una batería como fuente de alimentación, o la entrada para un convertidor de voltaje CA/CC.

También se han incorporado cuatro interruptores lógicos que entregan un nivel alto (1) o bajo (0) con sus correspondientes conectores de salida e indicadores luminosos con diodos LED para llevar estos niveles a las entradas de las diferentes compuertas y así verificar su tabla de la verdad. Para completar esta tarea, hay cuatro diodos LED independientes que se conectan a las salidas de las compuertas.

Las conexiones entre los diferentes elementos del entrenador se pueden hacer fácilmente con cable telefónico utilizando los conectores de entrada y salida de cada bloque, tal como lo mostraremos más adelante. En la tarjeta se encuentran dibujados claramente los símbolos de las diferentes compuertas lo cual facilita el procedimiento. En la **figura 29.1** se observa el diagrama esquemático del circuito y se explica la función que desempeña cada uno de los principales bloques del mismo.

En cada uno de los circuitos de entrada (IN1, IN2, IN3 e IN4) hay un interruptor de un polo y dos posiciones (S1, S2, S3 y S4) cuyos extremos están conectados a los terminales positivo y negativo de la fuente de alimentación. Dependiendo de su posición, se obtiene en el terminal central un nivel alto (1) o un nivel bajo (0). En este mismo terminal están los conectores de salida (J4, J5, J6 y J7) desde los cuales se lleva la señal a las entradas de las compuertas. En cada salida hay un diodo LED (D3, D4, D5 y D6) con una resistencia en serie de 470Ω para limitar la corriente del mismo. Estos LED sirven como indicadores del nivel presente en cada conector.

Los circuitos de salida (OUT1, OUT2, OUT3 y OUT4) están conformados por un diodo LED (D7, D8, D9 y D10) y una resistencia en serie de $1\text{ K}\Omega$. La señal de salida de las compuertas se conecta a ellos por medio de los conectores J8, J9, J10 y J11. Cuando un LED está encendido indica que el nivel es alto (1) y si está apagado es un nivel bajo (0).

Cada una de las compuertas está alimentada permanentemente y sus entradas y salidas tienen conectores disponibles con el fin de establecer los circuitos de prueba y experimentación. Además de comprobar las tablas de la verdad de cada una de las compuertas, éstas se pueden conectar de diferentes formas para obtener una gran variedad de circuitos digitales.

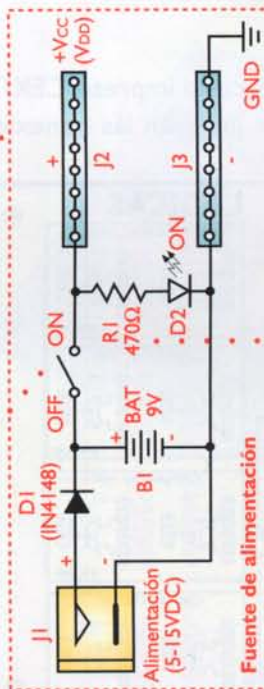
Lista de materiales

1. 1 Circuito integrado CD4049 (IC1)
2. 1 Circuito integrado CD4050 (IC2)
3. 1 Circuito integrado CD4011 (IC3)
4. 1 Circuito integrado CD4081 (IC4)
5. 1 Circuito integrado CD4001 (IC5)
6. 1 Circuito integrado CD4071 (IC6)
7. 1 Circuito integrado CD4070 (IC7)
8. 1 Diodo rectificador rápido 1N4148 (D1)
9. 1 Diodo LED amarillo de 5mm (D2)
10. 4 Diodos LED verdes de 5mm (D3 a D6)
11. 4 Diodos LED rojos de 5mm (D7 a D10)
12. 5 Resistencias de 470Ω - 1/4W (R1 a R5)
13. 4 Resistencias de $1\text{ k}\Omega$ - 1/4W (R6 a R9)
14. 5 interruptores de corredera pequeños de 2 polos 2 posiciones (S1 a S5)
15. 1 Conector de alimentación CA/CC (J1)
16. 2 Sockets en línea de 8 pines (J2 y J3)
17. 44 Sockets en línea de 2 pines (J4 a J47)
18. 1 Circuito impreso CEKIT referencia EF-27
19. 1 Batería cuadrada de 9V (B1)
20. 1 Conector para batería de 9V
21. 1 Soporte para batería de 9V
22. 4 Patas de caucho grandes
23. 4 Tornillos milimétricos de 3×16
24. 2 Tornillos milimétricos de 3×7
25. 6 Tuercas de 3 mm



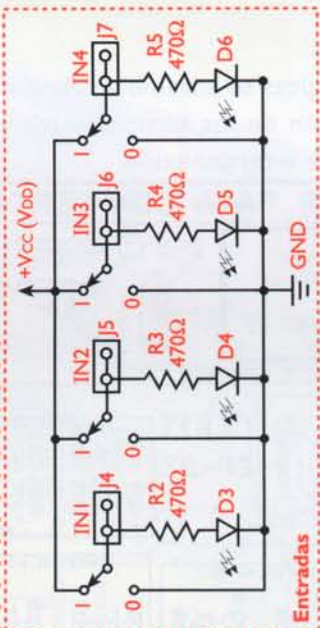
Fuente de alimentación.
Puede ser una batería de 9V o un convertidor de voltaje

Interruptor general



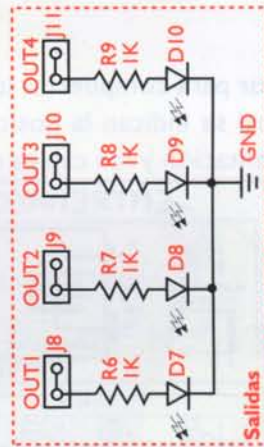
Fuente de alimentación

Indicador de encendido



Entradas

Bloque de entradas. Cada interruptor entrega un 1 o un 0 dependiendo de su posición. Los LED D3 a D6 indican el nivel de cada entrada



Salidas

Bloque de indicadores. Cada circuito, LED D7 a D10, indica si hay un nivel alto (encendido) o un nivel bajo (apagado).

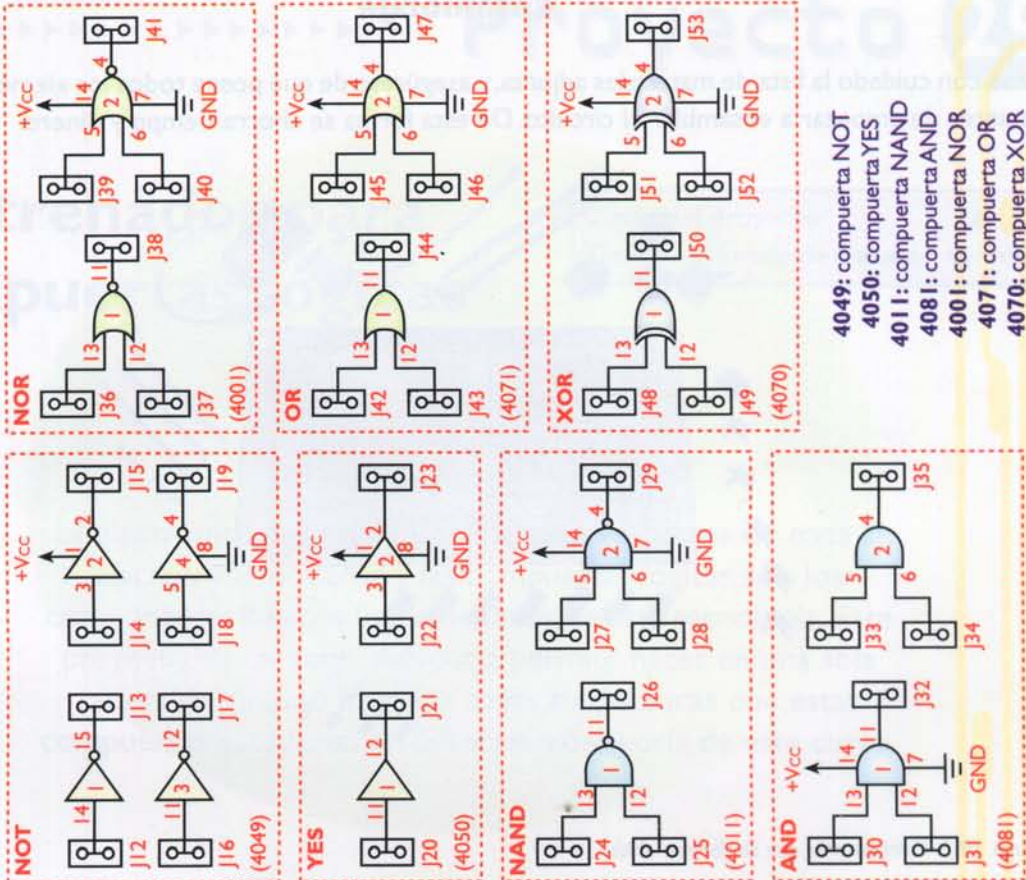


Figura 29.1. Diagrama esquemático del entrenador para compuertas lógicas

Ensamblaje

Revise con cuidado la lista de materiales adjunta, y asegúrese de que posee todos los elementos necesarios antes de empezar a ensamblar el circuito. De esta forma se ahorra tiempo y dinero.

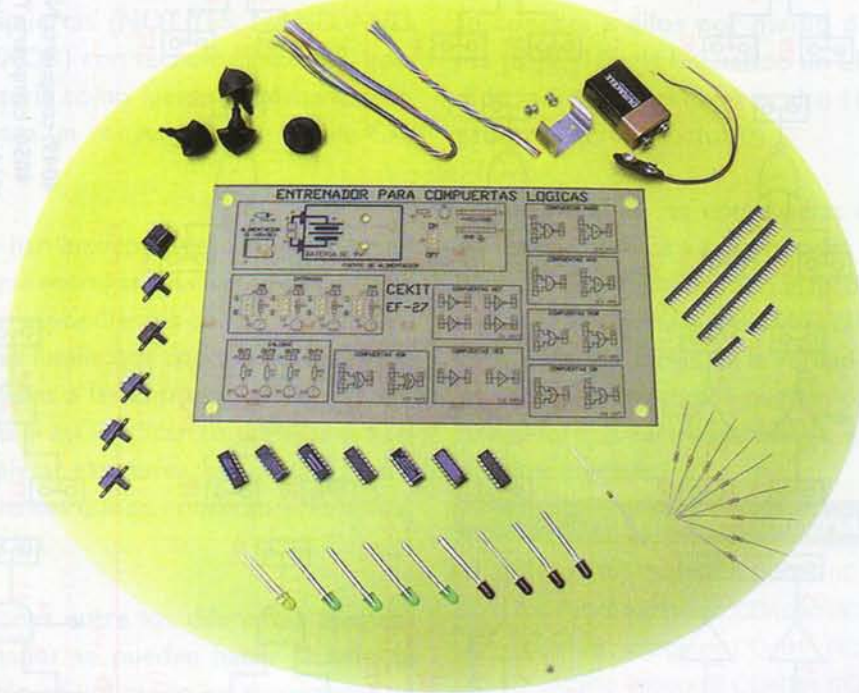


Figura 29.2. Componentes que conforman el kit

El entrenador para compuertas lógicas se ensambla sobre un circuito impreso CEKIT referencia EF-27, en el cual se indican la posición de los componentes y se incluyen las conexiones para la fuente de alimentación y los cables de interconexión.

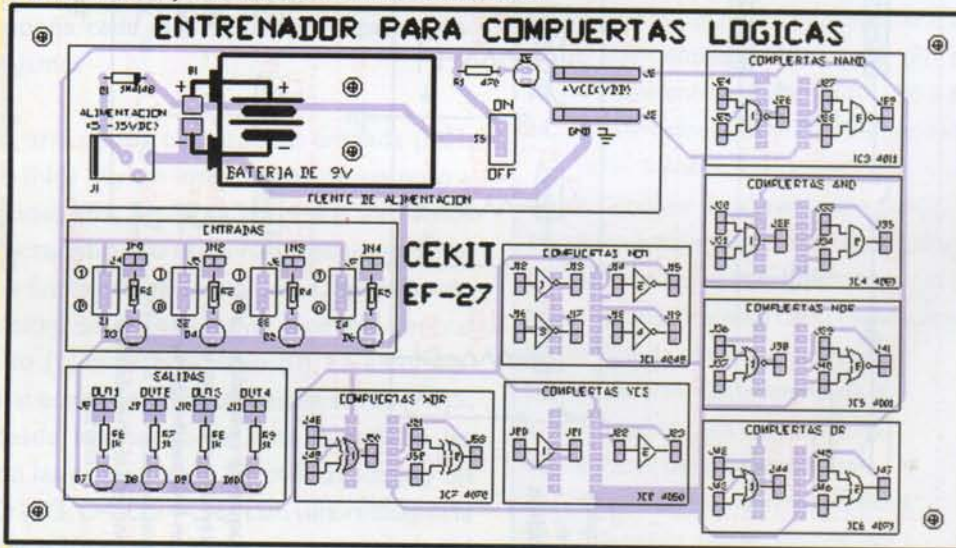
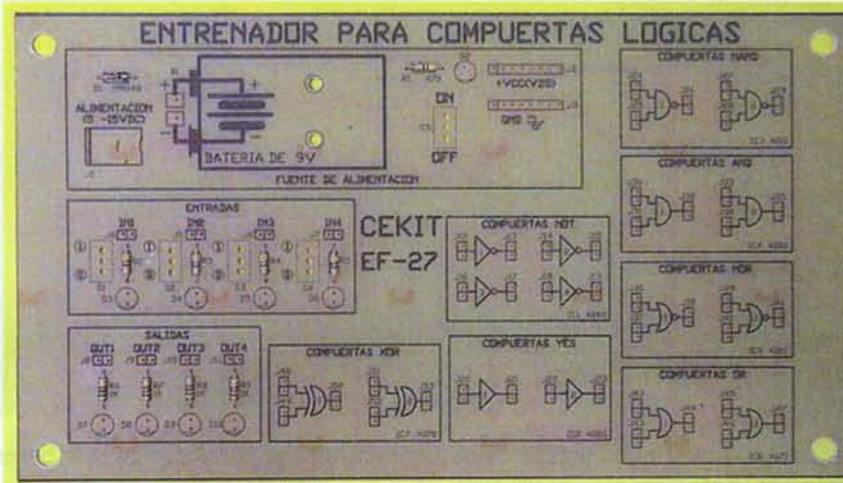


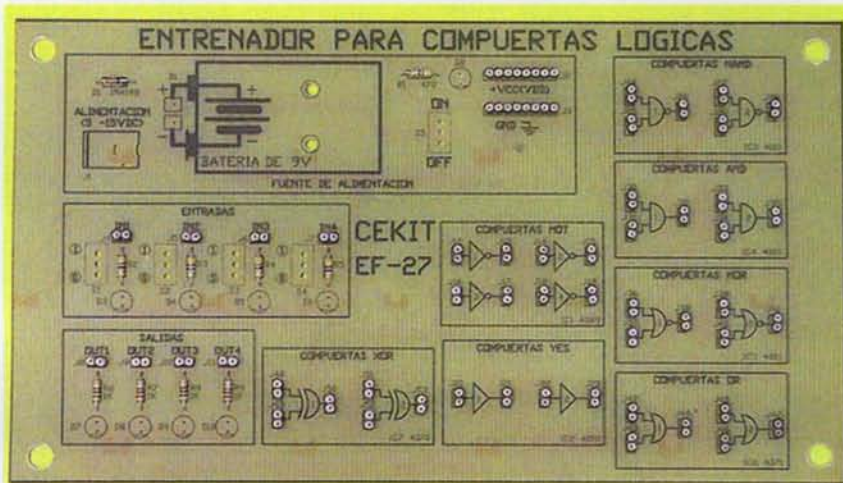
Figura 29.3. Guía de ensamblaje

Pasos para el ensamblaje

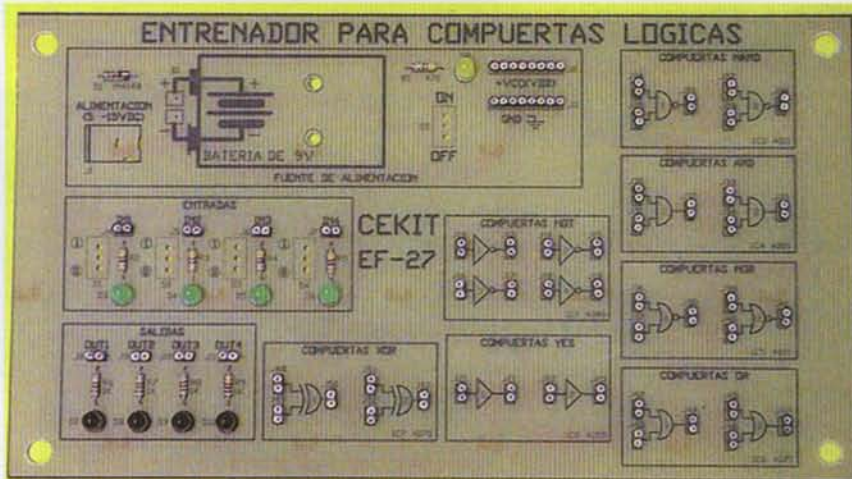
Paso 1. Primero instale y suelde el diodo de protección DI y las resistencias R1 a R9. **Figura 29.4**



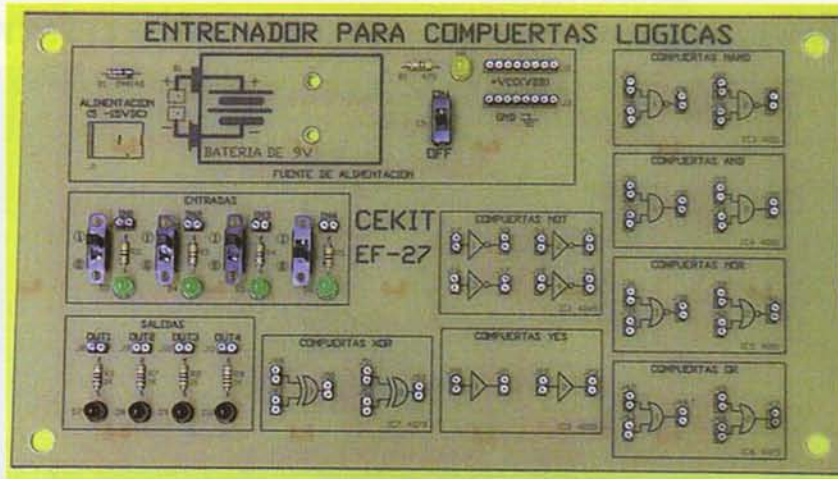
Paso 2. Luego instale y suelde los sockets en línea J2 a J47. **Figura 29.5**



Paso 3. Posteriormente instale y suelde los diodos LED D2 a D10. **Figura 29.6**



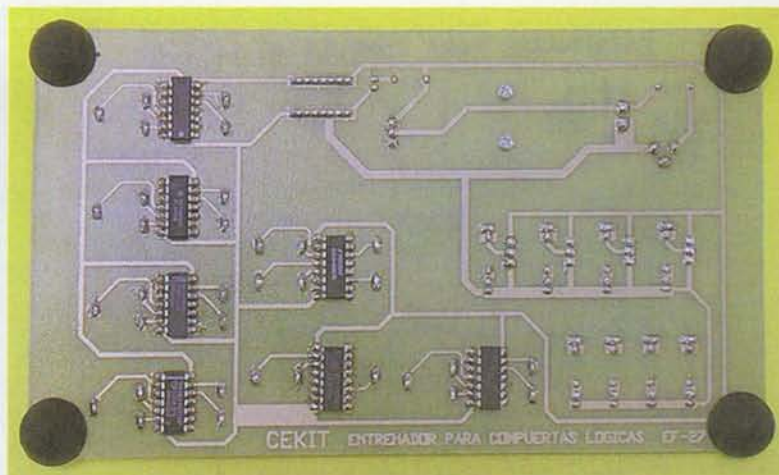
Paso 4. Después suelde los interruptores de corredera miniatura S1 a S5. **Figura 29.7**



Paso 5. A continuación suelde el conector de alimentación J1, el conector para la batería de 9V (BI) y asegure con dos tornillos el soporte metálico para la misma. **Figura 29.8**



Paso 6. Finalmente, suelde los circuitos integrados directamente al circuito impreso por su cara de soldadura e inserte las patas de caucho. **Figura 29.9**



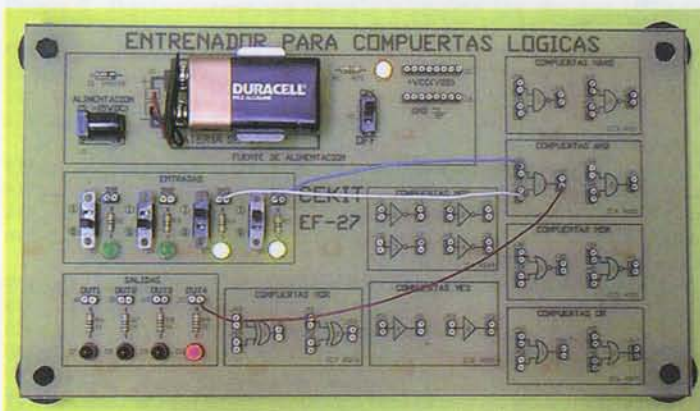
Paso 7. Prueba del circuito. Una vez ensamblado el circuito, revise detenidamente la posición de cada uno de los componentes y que todas las soldaduras hayan sido hechas correctamente. Conecte la batería al circuito y verifique que los circuitos integrados no se calienten, después de esto y con la ayuda de cables realice las pruebas necesarias basado en la sección de teoría de esta misma obra.

Para facilitar la tarea de experimentación y evitar ocasionar posibles daños al circuito, usted mismo puede fabricar los cables de interconexión. Para ello, tome varios segmentos de cable de diferente color, cada uno de ellos con una longitud aproximada de 25cm y desnude un centímetro del cable en cada uno de sus extremos. Así, para llevar las señales de una parte a otra del circuito, sólo deberá insertarlos en los conectores correspondientes a los componentes con los cuales quiere formar el circuito.

Ejemplos de la utilización

Para desarrollar cualesquiera de los ejemplos, primero se debe conectar la batería de 9V y poner el interruptor de encendido (S5) en la posición ON.

Ejemplo 1. Comprobación de la tabla de la verdad de la compuerta XOR. Primero conecte con alambre las entradas IN 1 e IN 2, a través de los sockets J4 y J5, con las dos entradas de la compuerta XOR 1 (J48 y J49), luego, conecte su salida (J50) con la salida OUT 1. Ahora se puede comprobar su comportamiento lógico al poner en 1 ó en 0 las entradas y observando la salida en los respectivos diodos LED (D3, D4 y D7).



Ejemplo 2. Comprobación de la tabla de la verdad de la compuerta AND. De la misma forma que en ejemplo anterior, primero conecte con alambre las entradas IN 3 e IN 4, a través de los sockets J6 y J7, con las dos entradas de la compuerta AND 1 (J30 y J31), luego, conecte su salida (J32) con la salida OUT 4. Ahora se puede comprobar su comportamiento lógico al poner en 1 ó en 0 las entradas y observando la salida en los respectivos diodos LED (D5, D6 y D10).

Índice Proyectos

Introducción a los proyectos	1	Proyecto 15. Bocina de potencia para bicicleta	65
Elección del proyecto	2	Ensamblaje	67
Los kits	3	Pasos para el ensamblaje	67
Diseño de proyectos electrónicos	4	Proyecto 16. Secuenciador de luces	69
Proyecto 1. Interruptor crepuscular	5	Ensamblaje	70
Proyecto 2. Medidor de nivel de líquidos	9	Pasos para el ensamblaje	72
Teoría de funcionamiento	10	Proyecto 17. Amplificador de 2W con transistores	73
Ensamblaje	11	Ensamblaje	75
Instalación del medidor de nivel de líquidos	12	Pasos para el ensamblaje	75
Proyecto 3. Luz de giro para bicicleta	13	Proyecto 18. Intercomunicador	77
Teoría de funcionamiento	14	Ensamblaje	79
Ensamblaje	15	Pasos para el ensamblaje	79
Proyecto 4. Alarma con retardo de entrada y de salida	17	Proyecto 19. Voltímetro luminoso	81
Teoría de funcionamiento	19	Teoría de funcionamiento	82
Ensamblaje	19	Ensamblaje	83
Pasos para el ensamblaje	20	Pasos para el ensamblaje	83
Proyecto 5. Temporizador de tres rangos con relé	21	Proyecto 20. Mezclador para micrófonos	85
Teoría de funcionamiento	23	Ensamblaje	87
Ensamblaje	23	Pasos para el ensamblaje	87
Pasos para el ensamblaje	24	Prueba del circuito	88
Proyecto 6. Trique (Tateti)	25	Proyecto 21. Amplificador de 8W	89
Teoría de funcionamiento	26	Ensamblaje	91
Ensamblaje	27	Pasos para el ensamblaje	91
Pasos para el ensamblaje	27	Instalación y prueba del circuito	92
Proyecto 7. Probador de diodos	29	Proyecto 22. Amplificador estéreo de 20 W con circuito integrado	93
Teoría de funcionamiento	30	Ensamblaje	95
Ensamblaje	31	Pasos para el ensamblaje	95
Pasos para el ensamblaje	32	Prueba final del circuito	96
Proyecto 8. Probador de continuidad	33	Proyecto 23. Atenuador para CC	97
Teoría de funcionamiento	34	Ensamblaje	99
Ensamblaje	35	Pasos para el ensamblaje	99
Pasos para el ensamblaje	35	Proyecto 24. Transmisor de FM en miniatura	101
Prueba final	36	Construcción de la bobina	102
Proyecto 9. Interruptor activado por tacto	37	Ensamblaje	103
Teoría de funcionamiento	38	Pasos para el ensamblaje	104
Ensamblaje	39	Prueba y calibración del circuito	104
Pasos para el ensamblaje	39	Proyecto 25. Control de aparatos con la voz	105
Prueba final	40	Ensamblaje	107
Proyecto 10. Fuente triple regulada	41	Pasos para el ensamblaje	107
Teoría de funcionamiento	42	Prueba y calibración del circuito	108
Ensamblaje	45	Proyecto 26. Medidor de temperatura con indicador visual	109
Pasos para el ensamblaje	45	Ensamblaje	111
Prueba final	48	Pasos para el ensamblaje	111
Proyecto 11. Probador de transistores	49	Prueba del circuito	112
Teoría de funcionamiento	50	Proyecto 27. Probador de reacción	113
Ensamblaje	51	Ensamblaje	114
Pasos para el ensamblaje	51	Pasos para el ensamblaje	115
Proyecto 12. Intervalómetro	53	Utilización y prueba del circuito	116
Teoría de funcionamiento	54	Proyecto 28. Contador de eventos	117
Ensamblaje	55	Ensamblaje	119
Pasos para el ensamblaje	56	Pasos para el ensamblaje	120
Proyecto 13. Dado electrónico	57	Utilización y prueba del circuito	120
Teoría de funcionamiento	58	Proyecto 29. Entrenador para compuertas lógicas	121
Ensamblaje	59	Ensamblaje	124
Pasos para el ensamblaje	60	Pasos para el ensamblaje	125
Proyecto 14. Miniórgano electrónico	61	Prueba del circuito	127
Teoría de funcionamiento	62	Ejemplos de la utilización	127
Ensamblaje	63		
Pasos para el ensamblaje	63		



CURSO FÁCIL DE ELECTRÓNICA BÁSICA

EVALUACIÓN FINAL

El siguiente cuestionario contiene 80 preguntas con respuestas de selección múltiple, divididas por secciones así:

Teoría	30 preguntas
Componentes	30 preguntas
Electrónica Práctica	20 preguntas
<hr/>	
Total	80 preguntas

- Todas las preguntas tienen solamente una respuesta correcta. Usted debe marcar, en la hoja de respuesta, únicamente la respuesta correcta. Si no marca ninguna respuesta o marca más de una respuesta, su respuesta a la pregunta será considerada como inválida y no entrará a formar parte de la puntuación final.
- Las preguntas contestadas correctamente tienen una puntuación de 1.0 y las contestadas incorrectamente una puntuación de 0.0. Por tanto, la máxima puntuación posible es 80.0. Su calificación final es la razón ponderada, en una escala de 0.0 a 5.0, de los puntos obtenidos a los puntos máximos posibles. Esto es:

$$\text{CALIFICACIÓN} = 5 \times (\text{Número de puntos obtenidos}/80)$$

Por ejemplo, si contesta correctamente 64 preguntas, su puntaje será de 64.0, equivalente a una calificación de 4.0 (cuatro punto cero)

- Para superar esta evaluación y obtener su Certificado de Entrenamiento en Electrónica Básica, expedido por CEKIT S. A., usted debe tener una calificación igual o superior a 3.00, lo cual equivale a contestar correctamente 48 o más de las 80 preguntas, es decir el 60% o más del cuestionario. De lo contrario, tendrá otra oportunidad. Consúltenos.
- Envíe su Hoja de Respuestas correctamente diligenciada a la dirección o e-mail que aparecen en la misma. Una vez calificada, recibirá sus resultados y el Certificado correspondiente. ¡ SUERTE !

Sección de teoría (30 preguntas)

1. Un átomo de cobre tiene 29 protones en el núcleo y 28 electrones en las órbitas. Por tanto, puede ser considerado como:
(a) Un ión negativo
(b) Un semiconductor
(c) Un aislante
(d) Un ión positivo
2. El espacio que rodea una carga eléctrica aislada está afectado por la existencia de:
(a) Un campo magnético
(b) Un campo eléctrico
(c) Un nivel de energía
(d) Una corriente eléctrica
3. Una forma sencilla de obtener, en una etapa de potencia push-pull, un transistor de PNP con un transistor PNP como driver y un NPN como transistor de salida es conectando-los en una configuración:
(a) Sziklai
(b) Darlington clásica
(c) Bootstrapping
(d) Emisor común
4. El paso de $3,14 \times 10^{18}$ electrones por segundo a través de un circuito está asociado con una intensidad de corriente de:
(a) 1 A
(b) 2 A
(c) 500 mA
(d) 100mA



- El ferromagnetismo, exhibido por materiales como el cobalto, es un caso extremo de paramagnetismo. Esto significa que el cobalto:
 - Produce líneas de fuerza paralelas
 - Tiene una muy alta permeabilidad
 - Es muy difícil de magnetizar
 - Se magnetiza aleándolo con hierro
- Un amplificador operacional es esencialmente:
 - Un amplificador de potencia de muy baja distorsión
 - Un amplificador de corriente de muy alta impedancia
 - Un amplificador de voltaje de muy alta ganancia
 - Una compuerta digital de propósito general
- Cual es el máximo voltaje que puede aplicarse en forma segura entre los extremos de una resistencia de potencia especificada como de $4\Omega/25W$?
 - 20V
 - 50V
 - 100 V
 - 10V

Las preguntas 8 y 9 se refieren al circuito de la figura A:

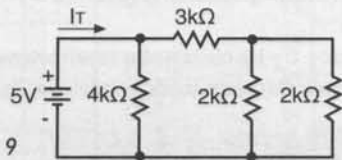


Figura A. Preguntas 8 y 9

- El valor de la corriente de entrada (I_T) es:
 - 1,25 mA
 - 1,0mA
 - 2,5 mA
 - 3,75 mA
- El valor de la caída de voltaje sobre la resistencia de $3k\Omega$ es:
 - 3,00 V
 - 3,75 V
 - 1,25V
 - 2,5V
- Un determinado circuito exige, para operar correctamente, la utilización de un condensador de $0,28\mu F$, que no es un valor comercial. Cual de las siguientes combinaciones de condensadores puede proporcionar la capacidad requerida:
 - Uno de $0,27\mu F$ y otro de $0,1\mu F$ conectados en serie
 - Dos de $0,56\mu F$ conectados en paralelo
 - Uno de $0,33\mu F$ y otro de $0,05\mu F$ conectados en paralelo
 - Uno de $0,47\mu F$ y otro de $0,68\mu F$ conectados en serie
- Cual es el valor rms aproximado de una onda seno pura que, observada en un osciloscopio, tiene una frecuencia de 200kHz y un valor pico a pico de 250mV?

- 125mV
- 177 mV
- 500 mV
- 353 mV

- Si en una de las entradas de una compuerta NAND TTL de dos entradas se aplica un nivel de voltaje de 3.0 V y en la otra entrada se aplica un nivel de voltaje de 4.0V, en la salida se obtiene un nivel de voltaje entre:
 - 0V y 0,8V
 - 0,8V y 2,0V
 - 2,0V y 3,0V
 - 3,0V y 4,0V

Las preguntas 13 y 14 se refieren al circuito de la figura B. Se trata de un rectificador de media onda ideal, sin filtro, se alimenta desde una red de 220VCA/50Hz a través de un transformador reductor que tiene una relación de transformación de 10:1. El rectificador, a su vez, alimenta una carga de 100W.

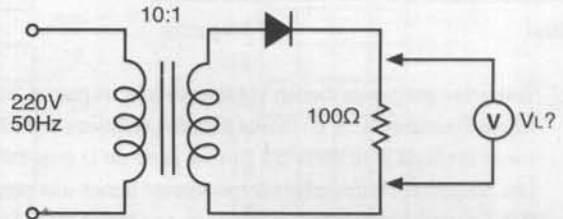


Figura B. Preguntas 13 y 14

- Cual es el valor medio del voltaje obtenido sobre esta última?
 - 22,5 V
 - 9,9 V
 - 6,5 V
 - 31,2 V
- En el circuito anterior, cual debe ser el valor mínimo aproximado del condensador de filtro que debe conectarse en paralelo con la carga para mantener la tensión de rizado por debajo de 2Vpp?
 - 2,600 μF
 - 6,800 μF
 - 680 μF
 - 1.280 μF
- En el circuito regulador de la figura C, ¿cual es valor de la corriente a través del diodo zener?.

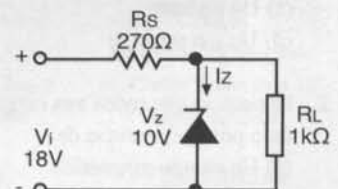


Figura C. Pregunta 15

- 10 mA
- 29,6 mA



- (c) 37,3 mA
- (d) 19,6 mA

16. En el circuito regulador de la figura D, ¿cuáles deben ser los valores comerciales más aproximados de R_x y R_y para que el voltaje de salida (V_o) sea +21.5V cuando el interruptor está abierto y +5.1V cuando el interruptor está cerrado?. Asuma que el voltaje de referencia del regulador es 1,25V

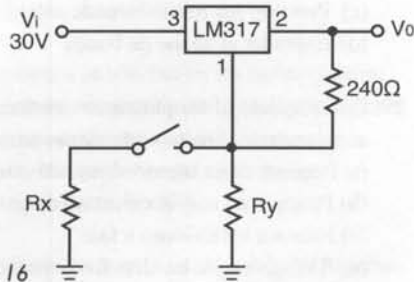


Figura D. Pregunta 16

- (a) $R_x=910\Omega$; $R_y = 3,9k\Omega$
- (b) $R_x = 680\Omega$; $R_y = 4,7k\Omega$
- (c) $R_x = 2,7k\Omega$; $R_y = 8,2k\Omega$
- (d) $R_x = 1,2k\Omega$; $R_y = 5,6k\Omega$

Las preguntas 17 y 18 se refieren a la figura E. Asuma que la caída directa de la unión base-emisor es de 0,65V y la ganancia de corriente del transistor es de 100.

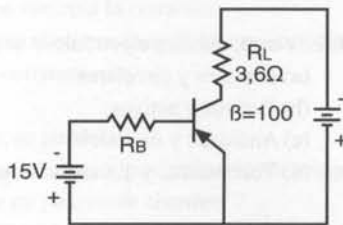


Figura E. Preguntas 17 hasta 19

17. Si $R_B=470k\Omega$, ¿Cual es el valor aproximado de la caída de voltaje sobre R_L , la resistencia de carga ?
- (a) 12V
 - (b) 10V
 - (c) 9V
 - (d) 11V
18. Cual es el valor máximo de R_B necesario para conseguir que el transistor se sature
- (a) 77 k
 - (b) 166 k
 - (c) 255 k
 - (d) 344 k
19. Cual es el valor de R_B más aproximado necesario para conseguir que el punto de trabajo Q se localice, aproximadamente, en la mitad de la recta de carga:
- (a) 466 kΩ
 - (b) 577 kΩ

- (c) 688 kΩ
- (d) 799 kΩ

20. Para el circuito de la figura F, cual es el valor aproximado de la tensión entre colector y emisor (V_{CE})?. Tenga en cuenta que se trata de un transistor PNP. Asuma que la ganancia de corriente está siempre por encima de 100

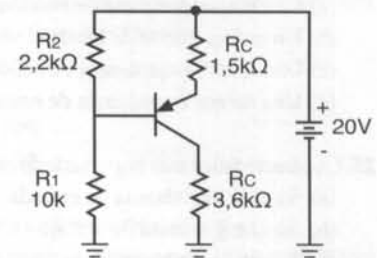


Figura F. Pregunta 20

- (a) - 8,0 V
- (b) -10,1V
- (c) -12, 2 V
- (d) -14,4 V

Las preguntas 21, 22 y 23 se refieren al circuito amplificador de señal pequeña de la figura G. En todos los casos, asuma que el transistor tiene una ganancia de corriente (β) de 100. Ignore las reactivancias de los condensadores

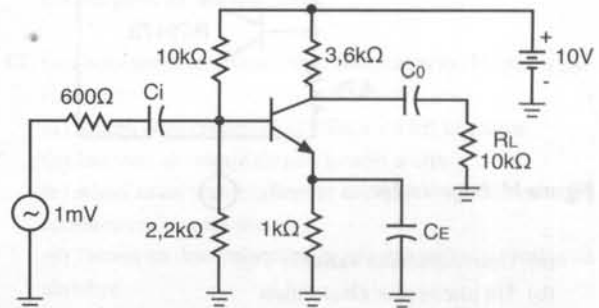


Figura G. Preguntas 21, 22 y 23

21. Cuales son, respectivamente, los valores de la corriente de colector (I_C) y del voltaje colector-emisor (V_{CE}) en condiciones de reposo, es decir sin señal de entrada
- (a) 0, 5 mA y 4,15 V
 - (b) 0, 8 mA y 5, 12 V
 - (c) 1, 1 mA y 4,94 V
 - (d) 2,3 mA y 5,66 V
22. Cual es la impedancia de entrada de la etapa
- (a) 330 Ω
 - (b) 470 Ω
 - (c) 600 Ω
 - (d) 1kΩ
23. Si el valor pico a pico de la señal entregada por el generador es de 1mV, ¿cuál es el valor pico a pico de la señal obtenida sobre la resistencia de carga?

- (a) 39,9 mV
- (b) 51,0 mV
- (c) 72,9mV
- (d) 93,8 mV

24. Con respecto a un amplificador en emisor común, un amplificador en base común tiene:

- (a) Una mayor ganancia de corriente
- (b) Un menor ancho de banda
- (c) Una menor impedancia de salida
- (d) Una menor impedancia de entrada

25. La característica más importante de un seguidor de emisor es:

- (a) Su alta impedancia de entrada
- (b) Su alta ganancia de voltaje
- (c) Su alta impedancia de salida
- (d) Su capacidad de producir inversión de fase

26. El circuito de la figura H se comporta entre los puntos A y B, esencialmente, como:

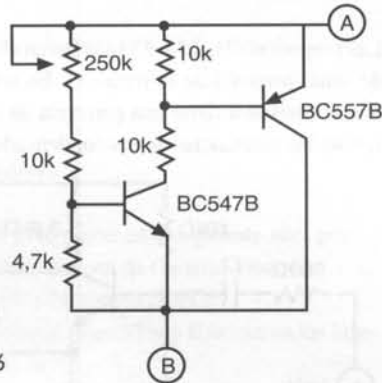


Figura H. Pregunta 26

- (a) Una resistencia variable
- (b) Un interruptor electrónico
- (c) Una fuente de corriente
- (e) Un diodo zener variable

27. En el circuito de la figura I, si el valor pico a pico de la señal de entrada es 1mV, cual es el valor pico a pico de la tensión de salida. Asuma que el JFET tiene una transconductancia de 2.500 μ mho

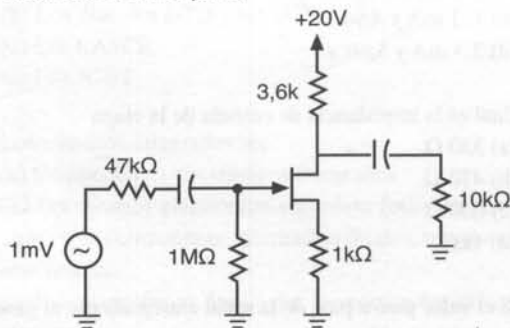


Figura I. Pregunta 27

- (a) 3,99 mV
- (b) 4, 11 mV
- (c) 5, 22 mV
- (d) 6,33 mV

28. La técnica del bootstrapping se utiliza en los amplificadores con transistores para

- (a) Aumentar la impedancia de entrada
- (b) Disminuir la impedancia de salida
- (c) Proteger los transistores de salida
- (d) Extender el ancho de banda

29. Con respecto al acoplamiento mediante circuitos RC, el acoplamiento directo entre etapas amplificadoras:

- (a) Requiere de un menor número de componentes
- (b) Produce un mayor consumo de potencia
- (c) Provoca inversiones e fase
- (e) Trabaja mejor en altas frecuencias

30. La distorsión de crossover es típica de los amplificadores

- (a) Clase A
- (b) Clase B
- (c) Clase AB
- (d) Clase C

Sección de componentes (30 preguntas)

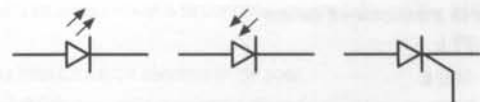
1. Los componentes electrónicos se dividen en:

- (a) Lineales y circulares
- (b) Pasivos y activos
- (c) Análogos y digitales
- (d) Transistores y circuitos integrados

2. Los símbolos de los componentes electrónicos se inventaron para:

- (a) Representar la corriente eléctrica
- (b) Simplificar el trabajo de los técnicos
- (c) Representar en forma gráfica la forma física de los componentes
- (d) Para la fabricación y reparación de los aparatos

3. Los siguientes símbolos representan, en su orden:



- (a) Un LDR, una lámpara y un TRIAC
- (b) Un LED, un fotodiodo y un SCR
- (c) Un transistor PNP, un JFET canal N y un UJT tipo N
- (d) Un LED, una LDR y un UJT tipo N

4. Los conductores eléctricos se clasifican mediante un número de acuerdo a:



- (a) Su color
(b) A su diámetro y área
(c) A su longitud
(d) A su forma
5. Los interruptores o suiches se utilizan en los circuitos para:
(a) Regular la señal que pasa por ellos
(b) Aumentar el volumen en el parlante
(c) Interrumpir el paso de la corriente
(d) Encender una luz piloto
6. Los conectores externos se utilizan en los circuitos para:
(a) Alimentar (ingresar) y tomar diferentes señales a un aparato
(b) Mejorar la presentación del aparato
(c) Complementar las funciones del aparato
(d) Conectar la entrada con la salida
7. Cuales son las principales ventajas de los circuitos impresos
(a) Facilitan las conexiones y sirven de soporte a los componentes
(b) Permiten la miniaturización
(c) Facilitan el ensamble y las reparaciones
(d) Todas las anteriores
- 8.Cuál es la función de un fusible en un aparato electrónico
(a) Evitar los cortocircuitos
(b) Un componente que se quema cuando hay un sobrevoltaje
(c) Un componente que controla la corriente
(d) Un componente que se quema cuando hay un cortocircuito o un exceso de corriente.
9. Si se quema un fusible, se puede:
(a) Reemplazarlo por uno de mayor corriente y mayor voltaje
(b) Reemplazarlo por un pedazo de alambre
(c) Reemplazarlo por uno exactamente igual
(d) Reemplazarlo por uno de menor corriente y mayor voltaje
10. Cual es la principal diferencia entre una pila y una batería:
(a) Una batería es más grande que una pila
(b) El voltaje de la batería es mayor que el de la pila
(c) Las baterías tienen un líquido electrolítico y las pilas no
(d) Las baterías se conectan en paralelo y las pilas en serie
11. En un circuito, la función básica de una resistencia es:
(a) Calentar el circuito
(b) Regular el paso de los electrones (Flujo de corriente)
(c) Ayudar en la función de los transistores
(d) Conectarse con condensadores y bobinas
12. Las unidades de medida de las resistencias son:
(a) Los voltios y los amperios
(b) Los vatios y los voltios
(c) Los ohmios (Ω) y los vatios
(d) Los ohmios (Ω) y los voltios
13. Una resistencia de 1/2 W con los colores rojo-rojo-amari-
llo-dorado tiene un valor de:
(a) 22.000 ohmios, 10% (22 K Ω)
(b) 2.200 ohmios, 5% (2.2 K Ω)
(c) 220.000 ohmios, 5% (220 K Ω)
(d) 2.2 Ω , 10%
14. Una resistencia de 1/2 W con los colores café (marrón)-
negro-negro- dorado tiene un valor de:
(a) 100 ohmios, 5%
(b) 10 ohmios, 5%
(c) 1.000 ohmios, 10%
(d) 10.000 ohmios, 5%
15. La principal función de los condensadores es:
(a) Formar circuitos con las resistencias y otros componentes
(b) Convertir la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC)
(c) Almacenar energía eléctrica en forma temporal
(d) Transferir la corriente de un circuito a otro
16. Las unidades de medida de los condensadores son:
(a) Los faradios (microfaradios, nanofaradios, picofaradios) y los voltios
(b) Los voltios y los amperios
(c) Los microhenrios y los voltios
(d) Ninguna de las anteriores
17. Las bobinas tienen una cierta *inductancia*, lo que significa que:
(a) Sirven para controlar el voltaje en los circuitos
(b) Inducen el voltaje de un circuito a otro
(c) Almacenan temporalmente energía oponiéndose a los cambios en la corriente
(d) Tienen un determinado número de vueltas o espiras de alambre
18. Los dos principales grupos o tipos de bobinas que hay son:
(a) Fijas y variables
(b) Con núcleo y sin núcleo
(c) Redondas y toroidales
(d) Grandes y pequeñas
19. La principal función de un transformador es:
(a) Transferir energía eléctrica entre dos o más circuitos
(b) Elevar o rebajar el voltaje
(c) Regular el voltaje en un aparato
(d) Aumentar el peso de los aparatos electrónicos
20. De acuerdo al voltaje de salida de un transformador este puede ser:
(a) Elevador o reductor
(b) De potencia
(c) Estabilizador
(d) De salida



21. Los materiales **semiconductores** se caracterizan por:
- Ser muy buenos conductores
 - Tienen una mala conductividad
 - Pueden ser conductores o aislantes dependiendo de un estímulo externo
 - Ser muy malos conductores
22. En electrónica se utilizan materiales semiconductores:
- Extrínsecos e intrínsecos
 - Tipo N y Tipo P
 - Dopados y no dopados
 - De alta y baja capacidad de corriente
23. La función básica de un diodo semiconductor es:
- Regular la corriente en un circuito
 - Conectarse con otros componentes formando circuitos semiconductores
 - Dejar pasar los electrones (corriente eléctrica) en un sólo sentido
 - Almacenar la corriente eléctrica
24. Los principales tipos de diodos son:
- Rectificadores
 - Zener
 - LED
 - Todos los anteriores
25. Los transistores se inventaron en el siguiente año, por:
- En 1940, por Peter Brown de General Electric
 - En 1950, por Akio Morita de SONY
 - En 1948 por Bardeen, Shockley y Brattain en los laboratorios Bell
 - En 1910, por Tomas Alva Edison
26. Los dos grandes grupos de transistores se llaman:
- Bipolares y FET (Field Effect Transistors)
 - Tipo PNP y NPN
 - De alta y de baja potencia
 - De alta y baja frecuencia
27. Los tiristores más utilizados en electrónica son:
- Los triac y los SCR
 - Los diac, los GTO y los SCS
 - Los LASCR
 - Los IGBT
28. Los circuitos integrados son:
- Componentes electrónicos integrados
 - Un circuito electrónico completo formado por muchos otros componentes entre ellos diodos, transistores y resistencias.
 - Las plaquetas en las cuales se montan los diferentes circuitos
 - Circuitos analógicos o digitales
29. Las principales familias de los circuitos integrados digitales son:
- TTL y CMOS
 - 74XX, 74LSXX, CD40XX
 - Las compuertas lógicas y los *flip-flops*
 - De alta y baja velocidad
30. Un transductor electrónico es:
- Un componente que transfiere energía de un circuito a otro
 - Un componente que produce energía eléctrica
 - Un dispositivo que convierte una forma de energía en otra
 - Un aparato que convierte ondas electromagnéticas en energía eléctrica

Sección electrónica práctica (20 preguntas)

1. Las prácticas en electrónica son necesarias por:
- Para verificar y complementar la teoría estudiada
 - Convertir las nociones teóricas en aparatos funcionales
 - Sin la práctica la electrónica no se aprende
 - Todas las anteriores
2. Las herramientas básicas para las prácticas y el ensamblaje de circuitos sencillos son:
- Los destornilladores, las pinzas y el alicate
 - Una pinza pequeña, un cortafíos pequeño, un juego de destornilladores y un caudín de 25 W
 - Un martillo, un taladro y una sierra
 - Un juego de llaves, un destornillador y un alicate
3. Cuales son los instrumentos básicos para las mediciones en electrónica:
- Un osciloscopio y un generador de señales
 - El voltímetro, el amperímetro y el óhmetro
 - Los multímetros análogos y digitales
 - Los medidores de energía eléctrica
4. La conexión de los voltímetros y los amperímetros es:
- Los voltímetros se conectan en serie y los amperímetros en paralelo
 - Los voltímetros se conectan en paralelo y los amperímetros en serie
 - Los voltímetros se conectan en serie con los amperímetros
 - Los amperímetros se conectan en paralelo con los voltímetros
5. Los multímetros electrónicos son:
- Aparatos que convierten energía eléctrica en movimiento
 - Un medidor de voltaje, corriente y resistencia en un solo aparato
 - Un generador de ondas multiuso
 - Los aparatos que regulan la energía eléctrica
6. Los *protoboards* se utilizan para:
- Darle una mejor presentación a los proyectos



- (b) Ensamblar sin soldaduras los prototipos o circuitos de prueba
 (c) Ordenar mejor los componentes en los circuitos
 (d) Hacer las prácticas en los colegios o universidades
7. ¿Qué es diseñar un circuito impreso?
 (a) Ubicar ordenadamente los componentes y conectar entre sí sus terminales
 (b) Dibujar las líneas o trazos de cobre en la plaqueta
 (c) Eliminar el cobre sobrante de la lámina
 (d) Ninguna de las anteriores
8. La soldadura que se utiliza para los circuitos electrónicos está fabricada con:
 (a) Estaño y cobre (80% y 20%)
 (b) Estaño 100%
 (c) Una aleación de estaño y plomo (60% y 40%)
 (d) Aluminio y hierro (50% y 50%)
9. El caudín que se utiliza normalmente para soldar circuitos electrónicos comunes es:
 (a) De punta delgada y con una potencia no mayor a 25W
 (b) De punta gruesa y con una potencia entre 45 y 60W
 (c) Puede ser una pistola para soldar de 100 W
 (e) Ninguno de los anteriores
10. El sistema más recomendado para el montaje de los componentes en un circuito impreso es:
 (a) Montar todos los componentes a la vez y luego soldarlos
 (b) Montarlos uno por uno, ir soldando sus terminales y cortar los sobrantes
 (c) Montarlos por lotes o tandas, ir soldando sus terminales y cortar los sobrantes
 (d) Puede ser el sistema b o el c, dependiendo del tamaño del circuito
11. Para hacer una buena soldadura el procedimiento correcto es:
 (a) Colocar la punta del caudín y la soldadura al tiempo
 (b) Tener la punta del caudín limpia, calentar bien primero el terminal del componente y el circuito impreso y luego aplicar rápidamente la soldadura.
 (c) Aplicar la soldadura y luego mover la punta del caudín varias veces
 (d) Ninguna de los anteriores
12. El principal uso de los circuitos impresos universales es:
 (a) Permitir el ensamble rápido y fácil de circuitos prototipo sencillos
 (b) Ahorrar costos en la elaboración de proyectos electrónicos
 (c) Darle una mejor presentación a los proyectos
 (d) Reemplazar los circuitos impresos comunes
13. La función del chasis en un aparato electrónico es:
 (a) Soportar y reunir en un solo empaque todos los componentes
 (b) Darle un aspecto físico agradable y funcional
 (c) Permitir la instalación de los controles, indicadores y conectores
 (d) Todas las anteriores
14. Para trabajar cómoda y ordenadamente en electrónica a nivel de aficionado, técnico o profesional se requiere:
 (a) Una mesa o banco de trabajo, un buen juego de herramientas, los instrumentos básicos, elementos para organizar y almacenar los componentes y una buena información técnica
 (b) Se puede trabajar en cualquier parte de la casa o de la empresa
 (c) No es necesario nada especial
 (d) Ninguna de los anteriores
15. Los pasos más importantes para la elaboración de un proyecto en electrónica son:
 (a) Elección, consecución de materiales, elaboración del prototipo, pruebas iniciales, diseño y fabricación del circuito impreso, ensamblaje, diseño y elaboración del chasis, ensamblaje y prueba final.
 (b) No se necesita un orden especial, se puede iniciar por cualquier parte
 (c) Dejar que otra persona elabore el proyecto a su criterio
 (d) Ninguna de los anteriores
16. Los componentes semiconductores se pueden reemplazar:
 (a) No hay manera de reemplazarlos
 (b) Por otros con iguales funciones y características similares
 (c) Por varios conectados en serie o en paralelo
 (d) Ninguna de las anteriores
17. La reparación de un aparato electrónico es:
 (a) Un proceso sistemático y ordenado que permite que vuelva a funcionar tal como salió de la fábrica
 (b) Ir probando al azar diferentes componentes y circuitos hasta que el aparato funcione nuevamente
 (c) No hay un sistema definido para hacerla
 (d) Cambiar los componentes dañados
18. La estructura general de un aparato electrónico está dividida en:
 (a) Componentes y circuitos
 (b) Secciones, etapas, circuitos y componentes
 (c) Circuitos análogos y digitales
 (d) Circuitos de control y de potencia
19. La red mundial de comunicaciones o internet, es útil en electrónica para:
 (a) Enviar y recibir correos electrónicos
 (b) Buscar y obtener todo tipo de información técnica
 (c) Anunciar nuestros productos y servicios
 (d) Todas las anteriores
20. La dirección de la página web de CEKIT S.A. es:
 (a) www.cekit.com.co
 (b) www.cekit.com
 (c) www.cekitsa.com
 (d) Ninguna de las anteriores

